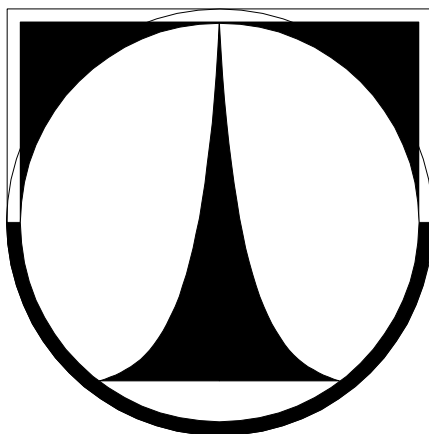


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



INOVACE TLUMIČE ŘÍZENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Křístek Jindřich

2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program N2301 – Strojní inženýrství

Katedra částí a mechanismů strojů
obor Inovační inženýrství

Inovace tlumiče řízení

Inovation of steering damper

Bc. Jindřich Křístek

KST –

Vedoucí diplomové práce: Ing. Rudolf Martonka, PhD.
Konzultant diplomové práce: Jindřich Křístek st. – firma Protlum

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	69
Počet tabulek	1
Počet příloh	3
Počet obrázků	40

Datum:24.5.2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Bc. Jindřich KRÍSTEK**

Studijní program: **N2301 – Strojní inženýrství**
Obor **3909T010 - Inovační inženýrství**

Zaměření **Inovace výrobků**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Inovace tlumiče řízení

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky hydraulických tlumičů
2. Teoretická část – rozbor funkčních principů hydraulických tlumičů
 - analýza stávajícího stavu, cílem je navrhnout tlumič rotační k tlumení vibrací řízení terénního motocyklu.
3. Praktická část – možnosti řešení koncepce tlumiče řízení
 - výběr řešení koncepce tlumiče řízení
 - návrh konstrukce tlumiče řízení
 - návrh regulace útlumu
 - návrh uchycení tlumiče řízení pro konkrétní motocykl
4. Výkresová a výpočtová dokumentace vítězného řešení
5. Závěrečné zhodnocení

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

Technická univerzita v Liberci. Strojní fakulta, Experimentální výzkum součinitelů průtoku škrticích elementů hydraulického tlumiče: (teze disertační práce), 2005. ISBN8070839902

NOVOTNÝ, P.: Pracovní sešit z Mechaniky tekutin pro kombinované studium. Liberec 2007. ISBN8073722100, 9788073722104

LEINVEBER, J. VÁVRA, P. ŘASA, J.: Praha 1999. ISBN 80-7183-164-6

ŠEVČÍK, L. a kol.: PLM systém a principy návrhu výrobku. Liberec 2010. ISBN 978-80-7372-641-6

PEŠÍK, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4.

PEŠÍK, L.: Části strojů 2. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Rudolf Martonka, PhD.

Konzultant diplomové práce: Jindřich Křístek st. firma Protlum s.r.o.


prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 15.12.2010

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Studijní program:	Studijní program N2301 – Strojní inženýrství
Jméno a příjmení:	Bc. Jindřich Křístek
Téma diplomové práce:	Inovace tlumiče řízení
Číslo diplomové práce:	
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Rudolf Martonka, PhD.
Konzultant diplomové práce:	Jindřich Křístek st. – firma Protlum

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo navrhnout zcela nový výrobek v produkci firmy. Zadáním bylo navrhnout tlumič řízení pro konkrétní terénní motocykl. Pro toto zadání byla zvolena koncepce rotačního tlumiče, kterou se zabývá pouze několik firem ve světě. Výsledkem diplomové práce je tedy konstrukční návrh prvního českého rotačního tlumiče řízení motocyklu. Při diplomové práci byly použity moderní metody měření, simulací a výroby prototypů. Diplomová práce také obsahuje podrobný rozbor funkčních principů hydraulických tlumičů, průzkum konkurenčního trhu a analýzu stávajícího stavu.

Abstract: The aim of this thesis was to design a brand new product in the firm's production. The assignment was to design a steering damper for a particular off-road motorcycle. A concept of a rotational damper, which is produced by only a few firms in the world, was chosen for this. Thus the result of the thesis is a constructive proposal for the first czech rotational steering damper for a motorcycle. A modern methods of measuring, simulations and a production of prototypes were applied during this thesis. The assignment also includes a detailed analysis of functional principles of hydraulic dampers, a market research of the competitors and the analysis of the present status.

KLÍČOVÁ SLOVA

- tlumič řízení
- hydraulický tlumič
- terénní motocykly

KEYWORDS

- steering damper
- hydraulic damper
- off-road motorcycles

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Nové Vsi nad Nisou 24.května 2011

.....

Bc. Jindřich Křístek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi pomáhali při zpracování diplomové práce. Chtěl bych poděkovat panu Prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc., Ing. Jiřímu Žákovi, Ph.D. a Ing. Rudolfovi Martonkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady při zpracovávání práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Aleši Lufinkovi, Ph.D. za možnost provedení měření v hydrodynamické laboratoři, Ing. Petrovi Zelenému, Ph.D. za možnost použití metody rapid prototyping a panu Ing. Milošovi Müllerovi, Ph.D. za pomoc při tvorbě hydraulických simulací.

Nejvíce bych chtěl poděkovat rodičům za jejich obětavou podporu během celého studia. Diplomová práce byla vypracována za podpory studentské grantové soutěže.

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY HYDRAULICKÝCH TLUMIČŮ	12
2.1.1. CO JE TO TLUMIČ?.....	12
2.1.2. HYDRAULICKÉ TLUMIČE	13
2.2. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TLUMIČŮ	14
2.3. FUNKCE TLUMIČE ŘÍZENÍ MOTOCYKLU	22
3. ANALYTICKÁ ČÁST	23
3.1. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU	23
3.2. STUDIE TRHU	25
3.2.1. PŘEHLED KONKURENČNÍCH VÝROBKŮ.....	26
3.3. STUDIE KONKURENČNÍHO VÝROBKU.....	31
3.3.1. MĚŘENÍ.....	32
3.3.2. POROVNÁNÍ CHARAKTERISTIK TLUMIČE OHLINS SD 530.....	33
3.3.3. ZÁVĚR MĚŘENÍ	36
4. PRAKTICKÁ ČÁST	37
4.1. NÁVRH VLASTNÍHO TLUMIČE ŘÍZENÍ	37
4.1.1. INOVAČNÍ ZÁMĚR	37
4.1.2. QFD ANALÝZA – HOUSE OF QUALITY	38
4.1.3. VÝBĚR KONCEPCE ŘEŠENÍ KONSTRUKCE TLUMIČE	40
4.1.4. POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	41
4.2. NÁVRH KONSTRUKCE	44
4.2.1. ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI NÁVRHU:	44
4.2.2. NÁVRH SPODNÍHO DÍLU TLUMIČE.....	45
4.2.3. NÁVRH ROTAČNÍHO ČLENU TLUMIČE.....	47
4.2.4. NÁVRH VRCHNÍHO DÍLU TLUMIČE.....	49
4.2.5. NÁVRH PODPĚRNÉ SOUČÁSTI TLUMIČE	51
4.2.6. NÁVRH REGULACE PRŮTOKU TLUMIČE	52

4.2.7. NÁVRH VÝSTUPU Z TLUMIČE.....	54
4.2.8. KOMPLETNÍ TLUMIČ ŘÍZENÍ.....	55
<u>5. ČÁST HODNOCENÍ NÁVRHU.....</u>	<u>59</u>
5.1. OVĚŘENÍ FUNKCE REGULACE	59
5.1.1. VÝSLEDKY SIMULACE	61
5.1.2. VÝPOČET ÚTLUMOVÉ SÍLY	62
5.2. ANALÝZA FMEA.....	63
<u>6. DOPLŇKOVÁ ČÁST</u>	<u>64</u>
6.1. POUŽITÍ METODY RAPID PROTOTYPING	64
6.2. NÁVRH PŘÍSLUŠENSTVÍ TLUMIČE ŘÍZENÍ.....	65
6.3. MONTÁŽ TLUMIČE ŘÍZENÍ.....	67
<u>7. ZÁVĚR.....</u>	<u>68</u>
<u>8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</u>	<u>69</u>

1. ÚVOD

Problematika hydraulických tlumičů je velmi rozsáhlá. Já jsem se ve své práci soustředil na tlumič řízení terénního motocyklu. Tento výrobek v dnešní době získává na popularitě, avšak žádná firma v České republice svůj rotační tlumič řízení zatím nevyrábí.

Spojil jsem se tedy s firmou Protlum, která se zabývala doposud pouze výrobou závodních teleskopických dvouplášťových tlumičů pérování. Pro tuto firmu jsem se rozhodl navrhnout výrobek, který bude znamenat velkou novinku jak v jejím sortimentu, tak na českém trhu.

Součástí diplomové práce je rozsáhlý obecný rozbor principů hydraulických tlumičů. Sám se pohybuji v prostřední motocyklových závodech, takže dokážu sám dobře určit požadavky zákazníka na tento výrobek. V práci dále důkladně analyzuji konkurenční trh a provedu studii konkrétního konkurenčního výrobku.

V praktické části se zabývám možnostmi koncepce vlastního řešení. Podrobně rozpracovávám nejlepší řešení a navrhuji vlastní výrobek. Návrh obsahuje jak konstrukci samotného tlumiče, tak konstrukci regulace útlumové síly a systém uchycení tlumiče k motocyklu. Cílem práce je navrhnout funkční prototyp, který bude jednoduše výrobitelný, a který bude lehce upravitelný při jeho ladění a testování. Konečný výrobek by měl být cenově dostupný a svými vlastnostmi by se měl vyrovnat nejlepším výrobkům zahraničních výrobců, nebo je převyšovat.

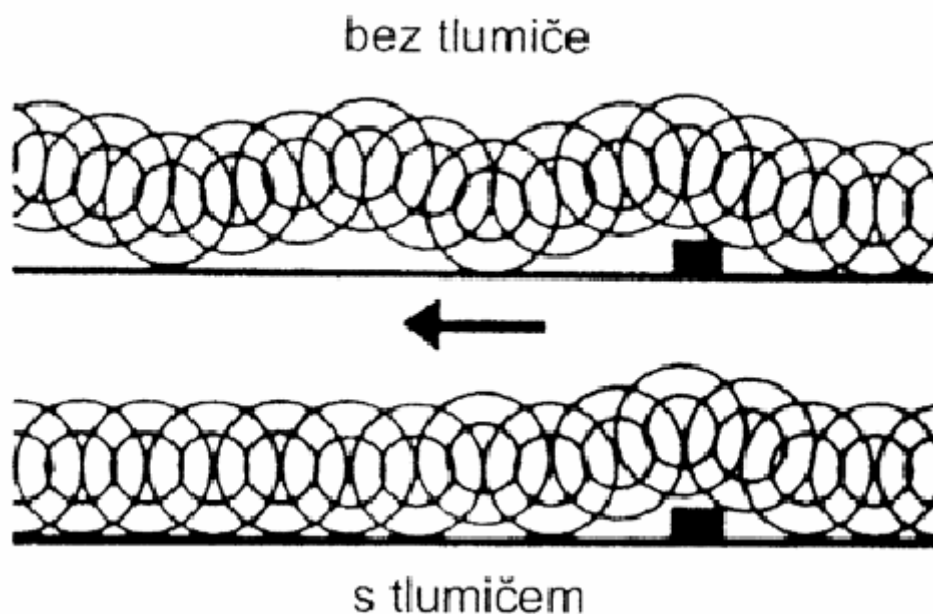
Diplomovou práci doplňuji vhodnými schémata a obrázky. Na závěr práce přidávám kompletní výkresovou dokumentaci a přílohy.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Úvod do problematiky hydraulických tlumičů

2.1.1. Co je to tlumič?

Tlumič je technické zařízení, které klade odpor prudkým pohybům. Slouží ke tlumení rázů a kmitů, zejména pružin u kol a náprav vozidel. Z fyzikálního hlediska tlumič absorbuje energii a rozptyluje ji do okolí v podobě tepla. Charakteristika tlumiče je daná jeho útlumem. Rychlostní charakteristika je funkce závislosti útlumové síly na rychlosti pohybu (obvykle pístnice). Běžně se nahrazuje charakteristikou zdvihovou, kdy je tlumič měřen v několika rychlostech a je sestavována závislost útlumové síly na poloze (zdvihu). [10]



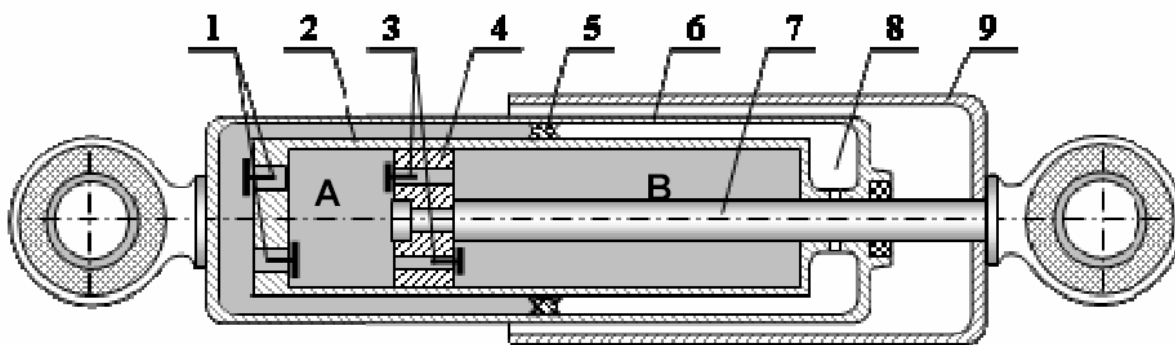
Obrázek 1: Funkce tlumiče [10]

2.1.2. Hydraulické tlumiče

Hydraulické tlumiče fungují na principu přetlačování oleje přes určitý průtok, kde vzniká tlakový spád. Tlumiče mohou fungovat jako jednočinné – tlumí v jednu směru pohybu, nebo dvojčinné – tlumí v obou směrech pohybu. [6]

Teoreticky se hydraulický tlumič nepodílí na přenosu hmotnosti karoserie na odpružené kolo. V ustáleném stavu, (např. když vozidlo stojí), nepřenáší hydraulický tlumič žádnou sílu. Tento předpoklad je teoretický a u moderních hydraulických tlumičů není splněn. Také hydraulický tlumič může v ustáleném stavu přenášet nenulovou statickou zatěžovací sílu. [6]

Rozhodující funkcí hydraulického tlumiče je tvořit v přechodovém režimu tlumící sílu závislou na rychlosti pohybu. Tlumící síla tvořená hydraulickým tlumičem má vždy dvě složky. První složka tlumící síly je tvořena viskózním třením pístu tlumiče ve vedení pracovního válce. Druhá složka je tvořena tlumícími ventily. [6]



Obrázek 2: Schéma teleskopického tlumiče [1]

1. – Základní ventily (Sací a přepouštěcí)
2. – Pracovní válec
3. – Tlumící ventily
4. – Pracovní píst
5. – Volný píst (Oddělovací)
6. – Vnější plášť
7. – Pístnice
8. – Vyrovnávací komora
9. – Kryt

2.2. Základní rozdělení tlumičů

Dle tlaku ve vyrovnávací komoře:

- Atmosférické
- Nízkotlaké
- Vysokotlaké

Dle konstrukce:

- Pákové
- Teleskopické jednoplášťové
- Teleskopické dvouplášťové
- Rotační

Dle působení na:

- Jednočinné, které tlumí jen v jednom směru pohybu
- Dvoučinné, které tlumí v obou směrech pohybu

Dle média na:

- Mechanické
- Kapalinové
- Plynové
- Plynokapalinové
- Magnetické
- Magnetorelogické
- Využívající vířivé proudy
- Pevnolátkové

Rozdělení podle tlaku ve vyrovnávací komoře

a) Atmosférické

Vyrovnávací komora je naplněna vzduchem a je spojena s vnější atmosférou. V ustáleném stavu je ve vyrovnávací komoře konstantní atmosférický tlak. Při vysouvání pístnice vzniká v pracovní komoře „A“ podtlak. Při velkých rychlostech pohybu pístu je vznik podtlaku příčinou pění oleje, poklesu měrné hmotnosti oleje a poklesu tlumící síly. Podtlak je také příčinou kavitace v oblasti základních ventilů. Vzduch ve vyrovnávací komoře obsahuje kyslík, který je příčinou koroze kovových materiálů. Atmosférické tlumiče jsou již technicky zastaralé. [6]

b) Nízkotlaké tlumiče

Nízkotlaké tlumiče mají vyrovnávací komoru uzavřenou, naplněnou dusíkem s nízkým tlakem $2,5 \div 5$ bar. Tento tlak dostačuje na odstranění většiny nevýhod atmosférických tlumičů. [6]

c) Vysokotlaké tlumiče

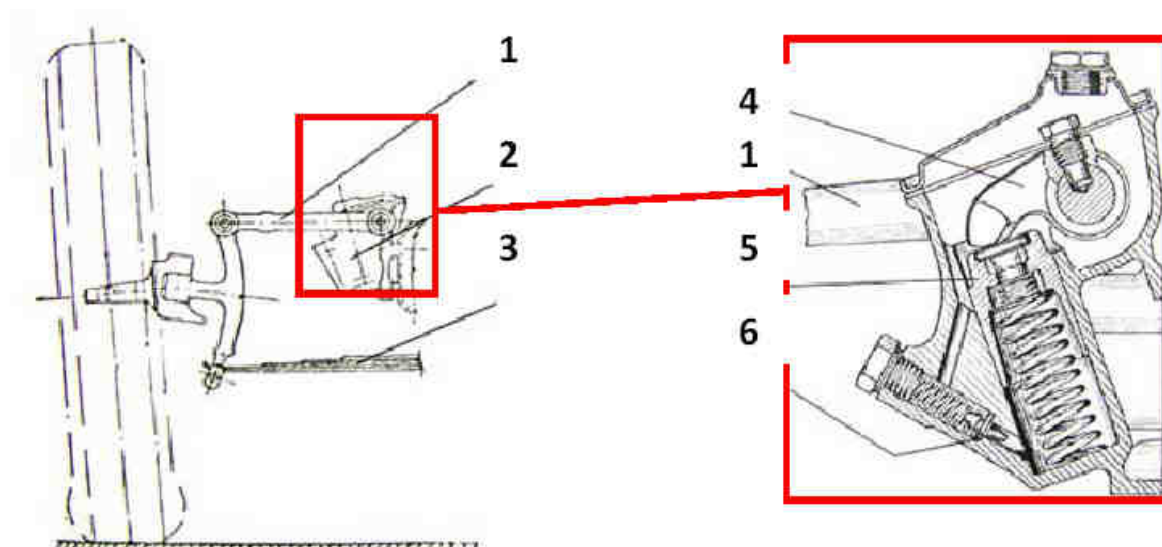
Vysokotlaké tlumiče mají vyrovnávací komoru uzavřenou, naplněnou dusíkem s relativně vysokým plnicím tlakem cca 25 bar. Tím jsou odstraněny nevýhody atmosférických tlumičů a snižuje se hlučnost činnosti ventilů. Zároveň plynokapalinový tlumič působí jako slabá pneumatická pružina. Při pohybu pístu je vždy jeden tlumící ventil otevřen a umožňuje průtok oleje mezi pracovními komorami „A“ a „B“. V ustáleném stavu, bez pohybu pístu, je v obou pracovních komorách „A“ a „B“ stejný tlak oleje totožný s plnicím tlakem dusíku ve vyrovnávací komoře. Síla přenášená pneumatickou pružinou tlumiče je určena součinem plochy pístnice a tlaku dusíku ve vyrovnávací komoře.

Základní vlastností hydraulického tlumiče je, že vyvine nižší tlumící sílu při zasouvání pístnice a vyšší tlumící sílu při vysouvání pístnice. To je dáno jednak konstrukčním uspořádáním základních ventilů (může být jen jeden průtočný v obou směrech) a zejména rozdílným naladěním hydraulických odporů v pístu zabudovaných tlumících ventilů. [6]

Rozdělení podle konstrukčního typu

Pákové tlumiče

Dnes už téměř nepoužívaný a zastaralý konstrukční typ hydraulického tlumiče. Byl využíván jako tlumič pérování, použit byl například u tuzemského vozu Škoda Spartak 440. Pákový tlumič je umístěn na přední nápravě, kde svou konstrukcí tvořil jedno z ramen lichoběžníkové nápravy [7]



Obrázek 3: Konstrukce pákového tlumiče [7]

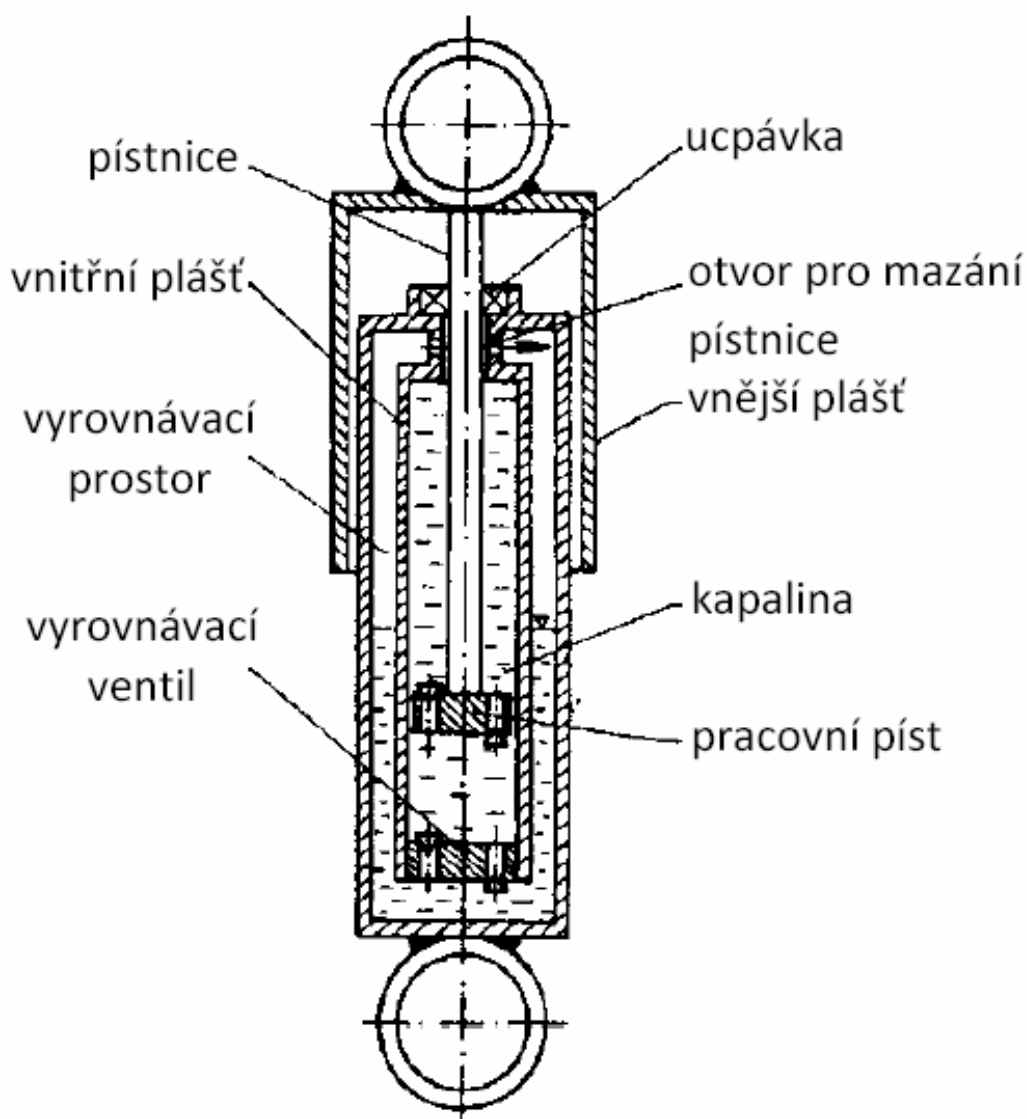
1 – rameno tlumiče, 2 – samotný tlumič, 3 – listové pero, 4 – palec tlumiče, 5 – píst přemáhající vinutou pružinu a tlak kapaliny proudící přes škrťací ventil, 6 – škrťací ventil [7]

Dvouplášťový teleskopický tlumič

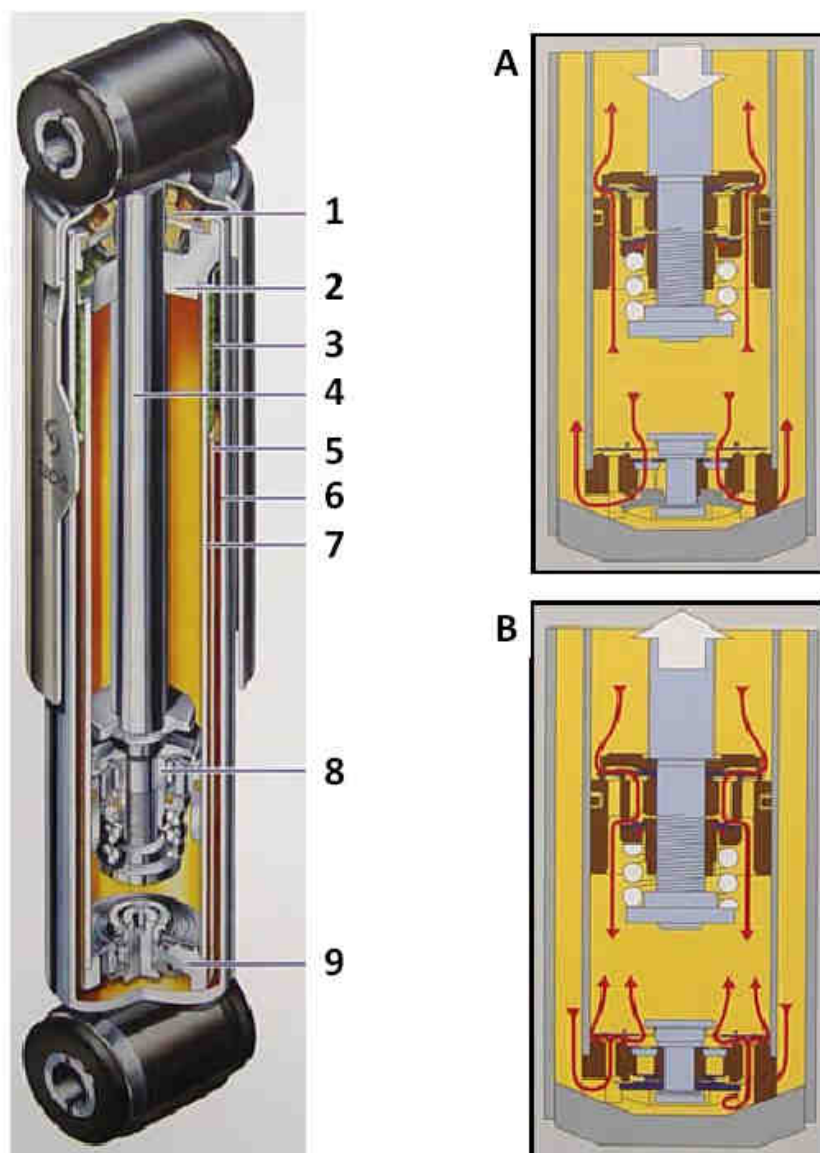
V pracovním (vnitřním) válci vyplněném kapalinou se pohybuje píst s průtokovými ventily, který je upevněn na konci pístnice. Při pohybu pístu se kapalina protlačuje otvory průtokových ventilů z jedné oblasti pracovního prostoru do druhé. Hydraulický odpor vznikající při tomto škrceném průtoku je příčinou vzniku tlumicí síly závisící na rychlosti pohybu pístu. Mezi pracovním a vnějším válcem (plášťem) tlumiče je tzv. vyrovnávací prostor, naplněný přibližně do poloviny kapalinou. Pracovní a vyrovnávací

prostor jsou navzájem propojeny vyrovnávacím ventilem ve spodní části tlumiče. Vyrovnávací prostor slouží na vyrovnávání rozdílů skutečného objemu pracovního prostoru, který se při zasouvání pístnice postupně zmenšuje o její objem, a na vyrovnání rozdílů objemu tlumičové kapaliny, který je závislý na její teplotě. Přebytečná kapalina, která je při stlačování tlumiče vytlačena zasouvající se pístnicí, proudí vyrovnávacím ventilem do vyrovnávacího prostoru.

Při roztahování tlumiče proudí olej nazpět do pracovního prostoru. Horní konec pracovního a vyrovnávacího prostoru je uzavřen víkem, ve kterém je vodicí pouzdro pístnice a těsnění. [7]



Obrázek 4: Schéma dvouplášťového tlumiče [7]



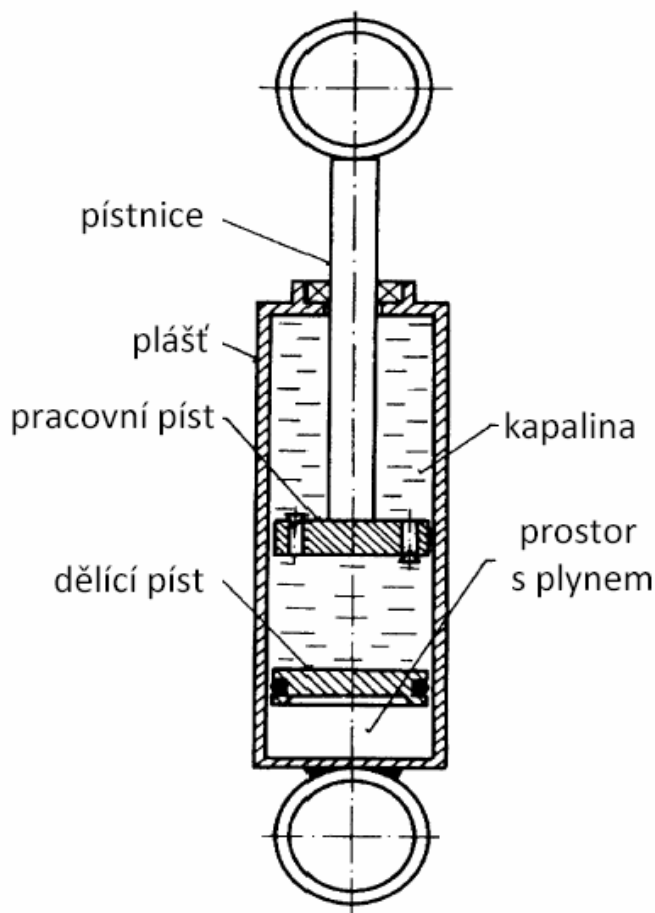
Obrázek 5: Pracovní schéma dvouplášťového tlumiče [6]

1 – těsnění pístnice, 2 – vedení pístnice, 3 – plyn, 4 – pístnice, 5 – zásobní prostor oleje, 6 – vnitřní trubka tlumiče, 7 – pracovní válec, 8 – ventilový píst, 9 – spodní ventil
 A – stlačování tlumiče, B – roztahování tlumiče[7]

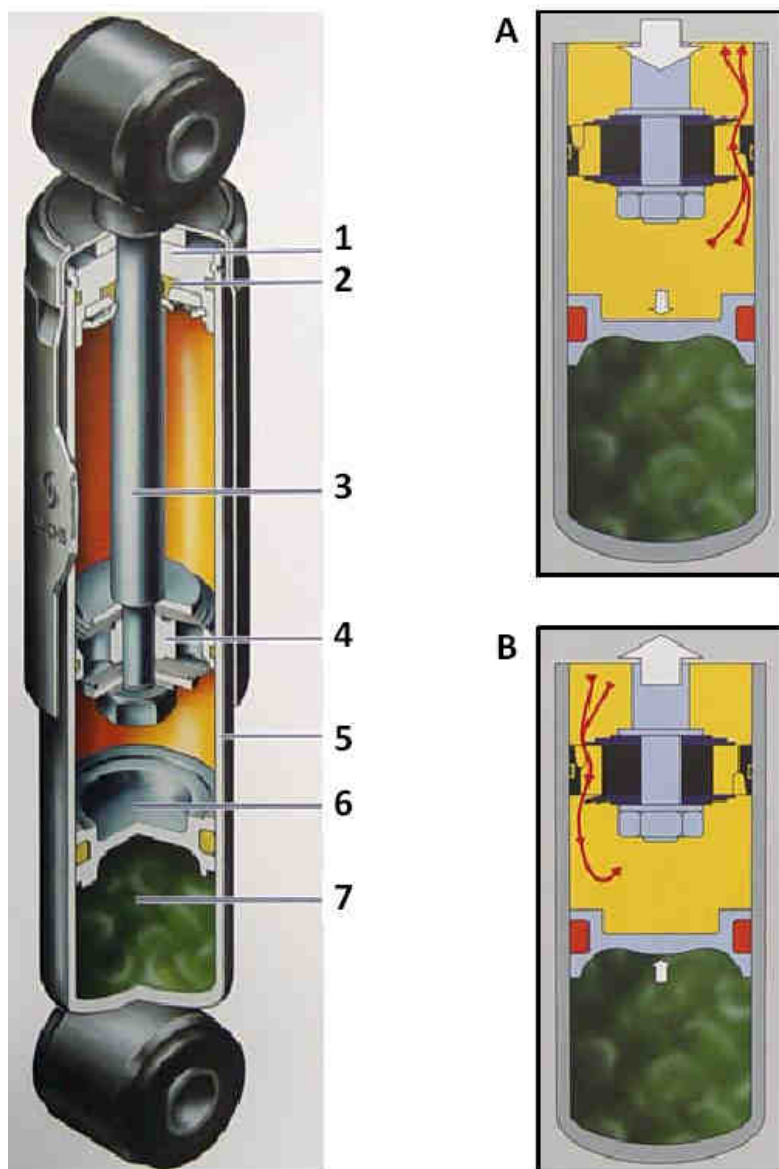
Pro správnou činnost tlumiče je důležité, aby pracovní prostor byl dokonale vyplněn tlumičovou kapalinou, bez vzduchového polštáře, v opačném případě stlačitelný vzduch v kapalině způsobuje kolísání tlumicí síly a tím zhoršuje účinek tlumiče. Z toho důvodu nemůže dvouplášťový tlumič pracovat v libovolné poloze, při velmi šikmém uložení by se mohl dostat vzduch, který se nachází nad hladinou kapaliny ve vyrovnávacím prostoru, vyrovnávacím ventilem do pracovního prostoru. [7]

Jednoplášťový teleskopický tlumič

Na rozdíl od dvouplášťového tlumiče nemá jednoplášťový tlumič (vyrovnávací prostor mezi pracovním a vnějším válcem. Vyrovnání rozdílů objemů pracovního prostoru a tlumičové kapaliny umožňuje objem stlačitelného vzduchu přímo v pracovním prostoru tlumiče. Protože kapalina při průtoku ventilky pění, účinnost tlumiče se zhoršuje. Pro odstranění této nedokonalosti byl vyvinut plynokapalinový tlumič, jehož předností je, že pracovní kapalina je zachycena plynovým polštářem, který nedovolí její pění. Místo vyrovnávacího prostoru je zde pružná plynová náplň s tlakem plynu 0,3 až 0,6 MPa. Tlumičová kapalina je od plynu oddělena dělicím pístem volně posuvným ve válci. Při zatlačování pístnice směrem dolů kapalina protéká ventily v pracovním pístu do prostoru nad tímto pístem. V tomto prostoru i v prostoru pod pístem je však tlak 0,3 až 0,6 MPa a není zde proto nebezpečí tvoření bublin. [7]



Obrázek 6 Schéma jednoplášťového tlumiče [7]



Obrázek 7: Pracovní schéma jednoplášťového tlumiče [7]

1 – vedení pístnice, 2 – těsnění pístnice, 3 – pístnice, 4 – ventilový píst ventil, 5 – pracovní válec, 6 – dělící píst, 7 – plyn

A – stlačování tlumiče, B – roztahování tlumiče

Výhody jednoplášťových tlumičů oproti dvouplášťovým: [7]

- větší průměr pracovního pístu při stejném vnějším průměru, proto nižší pracovní tlaky v kapalině vznikající při pohybu pístu
- lepší funkce při kmitavém pohybu s vyššími frekvencemi a menšími amplitudami, když vnitřní přetlak v kapalině zabraňuje jejímu pění

- lepší chlazení pracovního prostoru
- necitlivost na změnu objemu kapaliny při ochlazení tlumiče v klidovém stavu
- u tlumičů s dělicím pístem libovolná pracovní poloha

Značným problémem jednoplášťových tlumičů je jejich těsnost a životnost těsnění, pístnice a vodícího pouzdra. Ucpávka pístnice je vystavena značnému přetlaku tlumičové kapaliny, který se ve statickém stavu rovná přetlaku plynu ve vyrovnávacím prostoru (ten je u dvouplášťového tlumiče prakticky nulový). Toto zvyšuje nebezpečí pronikání kapaliny ucpávkou, na druhou stranu ovšem zvětšuje přítlak těsnění na povrch pístnice, tím se zvětšuje tření a zmenšuje životnost těsnění. Vodící pouzdro pístnice je v tomto případě až za těsněním (u dvouplášťového tlumiče před), protože kapalinu protékající vodícím pouzdrem nelze odvést do bezpřetlakového vyrovnávacího prostoru. To má za následek nedostatečné mazání vodícího pouzdra a jeho sníženou životnost a také snížení životnosti pístnice. [7]

Rotační tlumič

Jedná se o velmi málo používanou konstrukci. Rotační tlumič je používán zejména jako tlumič řízení motocyklů. Rozdíl oproti teleskopickým tlumičům je v tom, že vstup do tlumiče oproti tlumiči nevykonává pohyb posuvný, ale pohyb rotační. Výhoda spočívá v tom, že do tlumiče nezajíždí pístnice, tudíž není nutné kompenzovat změnu objemu vsunuté pístnice. Také je tlumič odolnější vůči vnějším vlivům, protože odstraníme nebezpečí ohnutí pístnice, které je obvyklé u teleskopických tlumičů.

2.3. Funkce tlumiče řízení motocyklu

Tlumič řízení slouží k zabránění rozkmitání řízení motocyklu. V angličtině pro tento jev mají pojem tank-slapper, česky se tomu lidově říká, že nám motorka nafackovala“. Ve skutečnosti jsou klasické motocykly náchylné ke dvěma typům kmitání řízení. [8]

Prvním typem je charakteristické kmitání předních vidlic kolem osy řízení, jinými slovy řídítka kmitají ze strany na stranu, ale zbytek motocyklu s jezdce zůstává téměř neovlivněn. [8]

Druhý typ kmitání je opak toho prvního – kmitá rám motocyklu okolo osy řízení. Když dojde k tomuto typu kmitání, zpravidla kmitá celý motocykl, neboť dochází k rozkmitání motocyklu i řídítek, podobně jako u prvního typu. [8]

Oba dva typy kmitání jsou pro jezdce na motocyklu krajně nepříjemné a nebezpečné. Tendenci motocyklu k rozkmitání řízení ovlivňuje řada faktorů. U samotného motocyklu jde zejména o geometrii samotného řízení motocyklu, zejména úhel hlavy řízení a také nastavení a konstrukce pérování předního kola. Také tuhost rámu motocyklu ovlivňuje náchylnost ke kmitání. Motocykly s méně tuhým rámem mají tendenci se rozkmitat při nižších rychlostech, naopak motocykly s tuhým rámem se rozkmitávají při rychlostech vyšších. U terénních motocyklů způsobují rozkmitání stroje zejména terénní nerovnosti, a to hlavně při brždění na rozbité trati, nebo ve vysokých rychlostech na nerovném povrchu. [8].

3. ANALYTICKÁ ČÁST

3.1. Analýza stávajícího stavu

Firma Protlum se zabývá zakázkovou výrobou závodních tlumičů pérování, které jsou určeny především pro závodní automobily, ale také čtyřkolky, sněžné skútry, sportovní i retro vozy a prototypy.

Všechny tlumiče v nabídce firmy jsou teleskopické s dvouplášťovou konstrukcí, fungující jako plynokapalinové.

V nabídce firmy jsou tři základní verze:

Verze Sport:

Tlumiče řady SPORT jsou určeny pro lehkou sportovní jízdu, tuning, retro vozy, elektromobily apod. Smyslem výroby těchto tlumičů je jiné nastavení útlumových charakteristik pro zákazníky, kterým nevyhovuje sériové nastavení jejich vozidla.

Verze Race:

Tlumiče řady RACE jsou určeny pro závodní jízdu a vyvíjeny pro velmi vysoké zatížení. Tyto tlumiče jsou vybaveny vyrovnávací nádobkou, která slouží k oddělení olejové náplně od náplně plynové. Výhodou tohoto řešení je, že během provozu nemůže dojít ke zpěnění olejové náplně a tím ke změně útlumových sil, tedy zhoršení činnosti tlumiče. Nezanedbatelnou výhodou je i vyšší objem oleje, který zabezpečí lepší odvod tepelné energie po celém povrchu obalu tlumiče. Tlumiče řady RACE jsou z výroby dodávány v optimálním nastavení pro konkrétní vozidlo, ale zákazník má možnost jemného doladění úpravou tlaku plynové náplně ve vyrovnávací nádobce.

Verze Top Race:

Tlumiče určené pro závodní použití splňující nejvyšší nároky s možností individuálního nastavení útlumových sil. Tlumiče řady TOP-RACE jsou vybaveny vyrovnávací nádobkou, která slouží k oddělení olejové náplně od náplně plynové.

Výhodou tohoto řešení je, že během provozu nemůže dojít ke zpěnění olejové náplně a tím ke změně útlumových sil, tedy zhoršení činnosti tlumiče. Nezanedbatelnou výhodou je i vyšší objem oleje, který zabezpečí lepší odvod tepelné energie po celém povrchu obalu tlumiče. Tlumiče řady TOP-RACE jsou z výroby dodávány v optimálním nastavení pro konkrétní vozidlo. U tohoto typu tlumičů má zákazník možnost nastavení útlumových sil pomocí regulačních prvků:

- Pomalorychlostní regulace stlačovacího útlumu (Low speed compression)
- Vysokorychlostní regulace stlačovacího útlumu (High speed compression)
- Regulace roztahovacího útlumu (Rebound)



Obrázek 8: Teleskopický tlumič Protlum

3.2. Studie trhu

Tlumiče řízení motocyklů jsou používané zpravidla u sportovních motocyklů. U silničních sportovních motocyklů jsou tlumiče velice rozšířené, někteří výrobci dokonce tlumiče řízení montují na své motocykly již při sériové výrobě. U silničních motocyklů jde zpravidla o tlumiče teleskopické, rotační tlumiče jsou zde spíše výjimkou.

U terénních motocyklů je situace opačná. Zde jsou vybaveny tlumiči řízení pouze motokrosové motocykly Honda CR-F, a to tlumiči teleskopickými. U terénních motocyklů je ovšem použití teleskopického tlumiče nevhodné, a to hlavně ze dvou důvodů. Prvním důvodem jsou problémy se zástavbou. Teleskopický tlumič zabírá příliš mnoho místa, je nutno jej tedy umístit buď z boku motocyklu, nebo pod číslovou tabulkou, kde je ovšem u enduro motocyklů tachometr. Druhý důvod je, že u terénních motocyklů dochází k častým pádům a kolizím, při kterých je teleskopický tlumič náchylný k ohnutí pístnice a dalšímu poškození.

Rotační tlumič má tedy výhodu co se týče zástavby. Bohužel jsou rotační tlumiče stále “exoty” na trhu. Jsou používány při motokrose, v enduru a ve velké míře v dálkových rallye soutěžích (př. Rallye Dakar), kde je rotačním tlumičem vybavena většina motocyklů.

Výrobci rotačních tlumičů je na světě několik, tlumiče jsou různé kvality, avšak jednoznačný prim hraje firma Ohlins, která je průkopníkem ve vývoji rotačních tlumičů. Bohužel žádný český výrobce nemá ve své nabídce takový výrobek. Ceny rotačních tlumičů se pohybují cca od 10 000Kč do 18 000Kč.

Provedl jsem studii trhu s rotačními tlumiči řízení a zdokumentoval nabídku jednotlivých firem. Jednoznačně nejlepší výrobek – tlumič Ohlins SD 530- jsem získal k zapůjčení pro rozměrovou analýzu. Zároveň jsem provedl měření charakteristik tlumiče hydrodynamické laboratoři. Výsledky měření jsem zpracoval do grafů zdvihové charakteristiky. Z výsledků jsem získal orientační útlumové síly, které vznikají při tlumení kmitů při jednotlivých frekvencích a také jsem si udělal obrázek o funkci regulace tlumiče Ohlins SD 530.

3.2.1. Přehled konkurenčních výrobků

Do přehledu konkurenčních výrobků jsem vybral několik rotačních tlumičů řízení různých výrobců, které jsou dováženy do ČR. U každého výrobku jsem zdůraznil jeho hlavní výhody a nevýhody. Také jsem zde uvedl ceny jednotlivých tlumičů.

Tlumič firmy Motosportz



Obrázek 9: Tlumič Motosportz

- Jeden z nejlevnějších výrobků , cena 11 300 Kč
- Montáž nad řídítka (viz foto), při montáži pod řídítka dojde k velkému zvýšení řidítek
- Rotační člen není v ose řízení, takže čep uchycení k rámu se posouvá a dře v oválné díře

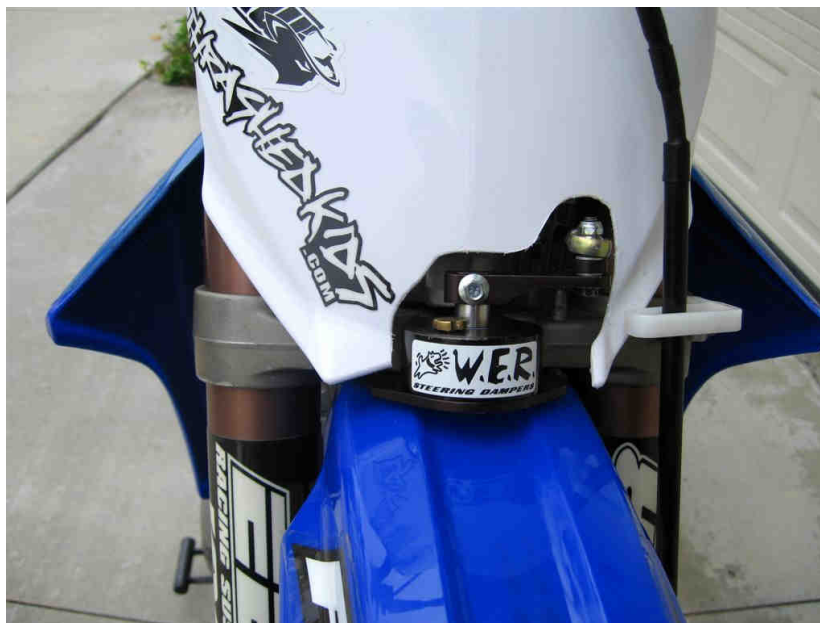
Tlumič firmy GPR



Obrázek 10: Tlumič GPR

- Cena 13 100 Kč
- Montáž nad řídítka
- Není zaručena souosost rotačního členu a řízení
- Působivý design
- Používaný zejména na silničních motocyklech

Tlumič firmy W.E.R



Obrázek 11: Tlumič W.E.R.

- Cena 10 900 Kč
- Zajímavé řešení, netradiční uchycení mezi blatník a spodní brýle vidlic
- Obtížnější instalace uchycení reakce
- Tlumič neovlivňuje výšku řídítek, problém nastává u enduro motocyklů se světlem
- Nelze nastavovat útlum za jízdy

Tlumič firmy Scotts



Obrázek 12: Tlumič Scotts

- cena dle motocyklu pro který je určen, okolo 15 000 Kč
- Montáž nad řídítka (viz foto), při montáži pod řídítka dojde k velkému zvýšení řidítek
- rotační člen není v ose řízení, takže čep uchycení k rámu se posouvá a dře v oválné díře
- velice oblíbený tlumič, používaný často u off-road motocyklů

Tlumič firmy Ohlins



Obrázek 13: Tlumič Ohlins

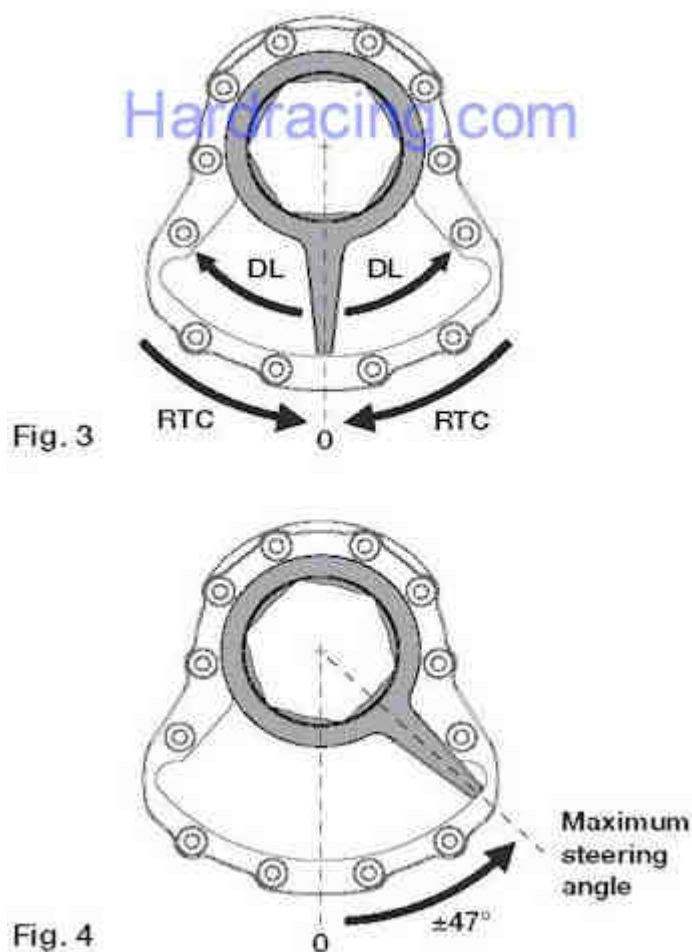
- Asi nejlepší produkt na trhu, cena 17 500 Kč
- Systém dopředné i zpětné regulace útlumu
- Možná montáž pod řídítka
- Souosý rotační člen a řízení
- Nevýhodou je velká šířka v ose rotace, nemožnost montáže s laděnými klemami řidítek motocyklů KTM EXC six days

3.3. Studie konkurenčního výrobku

Pro studii konkurenčního výrobku jsem si vybral tlumič Ohlins SD 530.



Obrázek 14: Instalovaný konkurenční tlumič

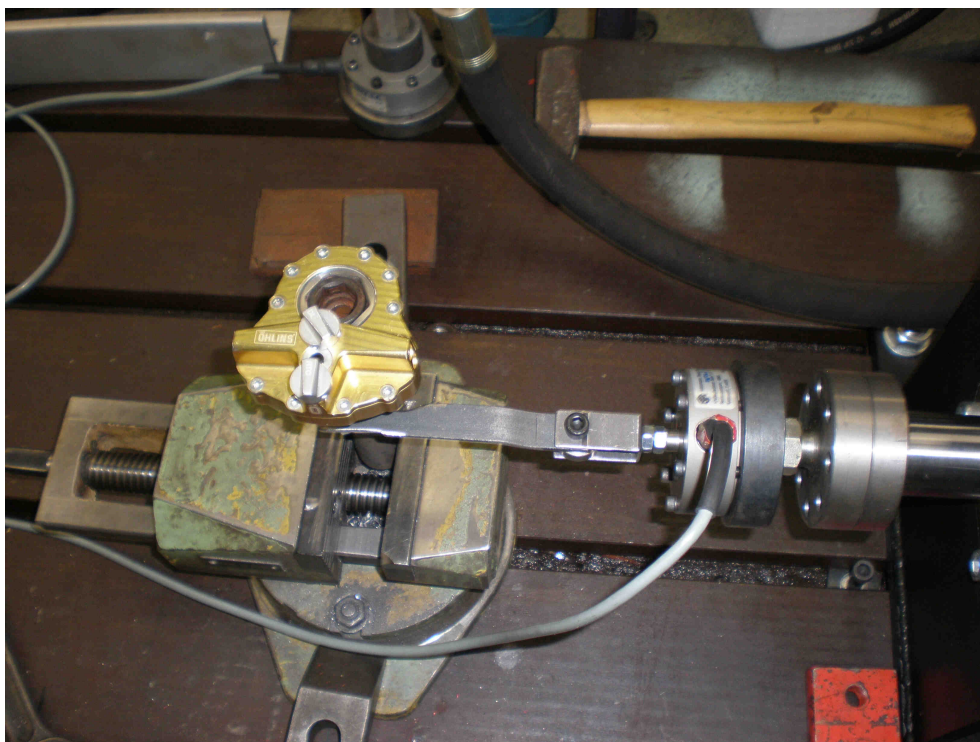


Obrázek 15: Schéma konkurenčního tlumiče

3.3.1. Měření

Měření jsem prováděl v hydrodynamické laboratoři TUL. Tlumič byl upnut ke stolu a přes ramínko bylo pohybováno s rotačním členem tlumiče. K pohonu byl využíván lineární hydraulický motor. Útlumové síly byly měřeny siloměrem při různých nastaveních tlumiče.

Tlumič byl měřen při nastaveních doporučených výrobcem pro motokros a enduro, a dále při různých dalších nastaveních útlumů dopředné a zpětné regulace pro získání přehledu o funkci regulací tlumiče.



Obrázek 16: Uchycení tlumiče při měření

3.3.2. Porovnání charakteristik tlumiče OHLINS SD 530

DL-regulace útlumu při vychýlení z počáteční polohy

RTC-regulace útlumu při návratu do počáteční polohy

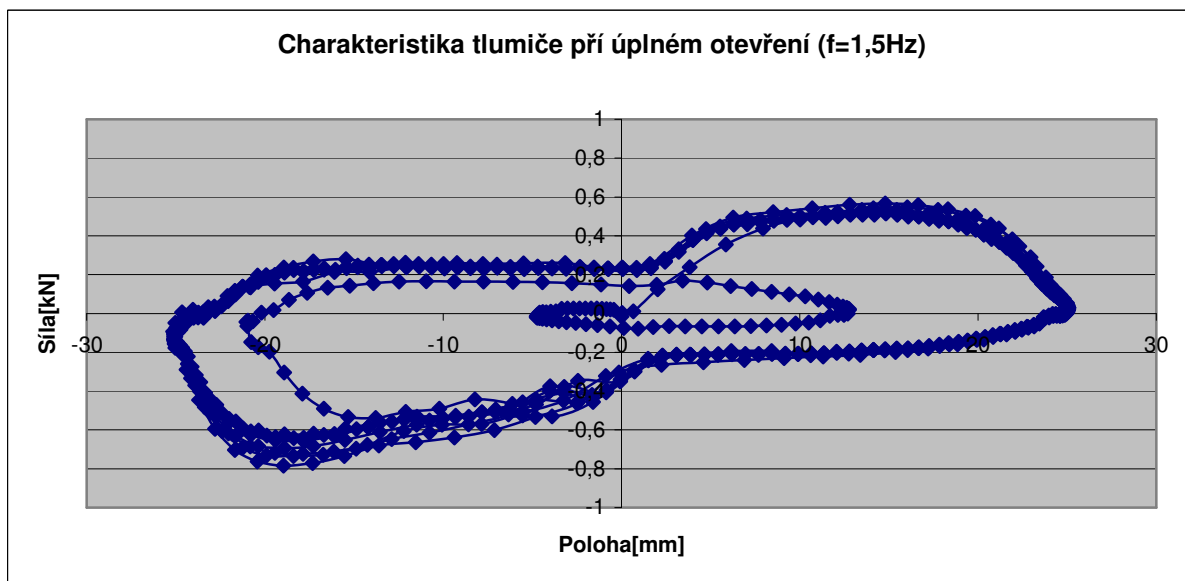
Měřeno na zařízení s lineárním pohonem – maximální výchylka odpovídá natočení 40°

Nastavení MX

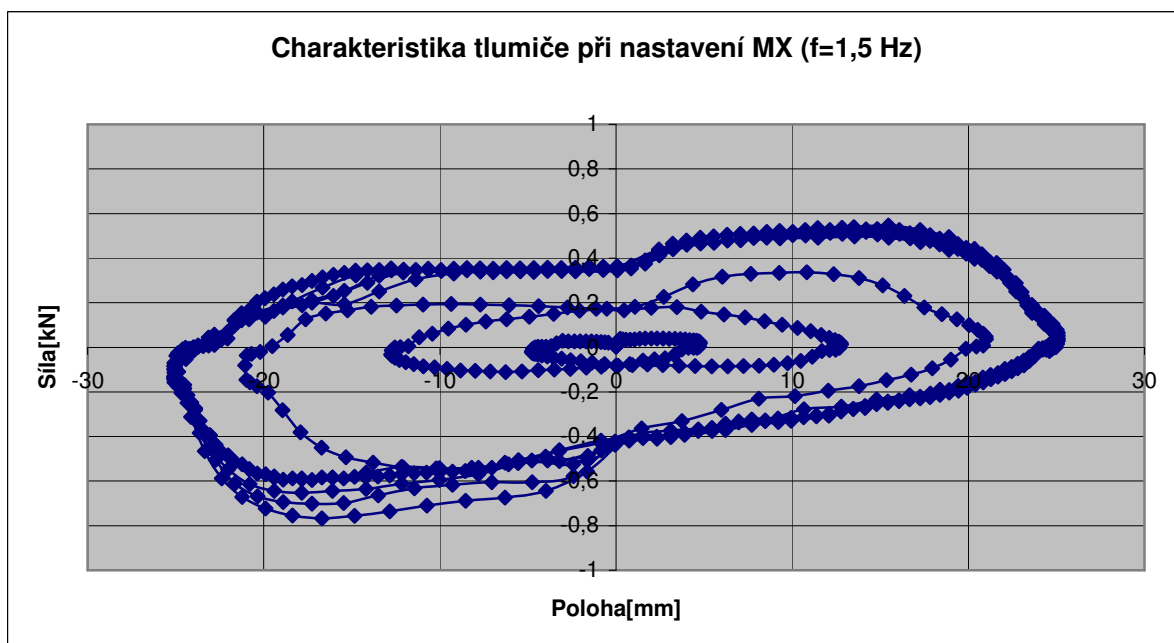
DL-12 poloh, RTC-6 poloh

Nastavení ENDURO

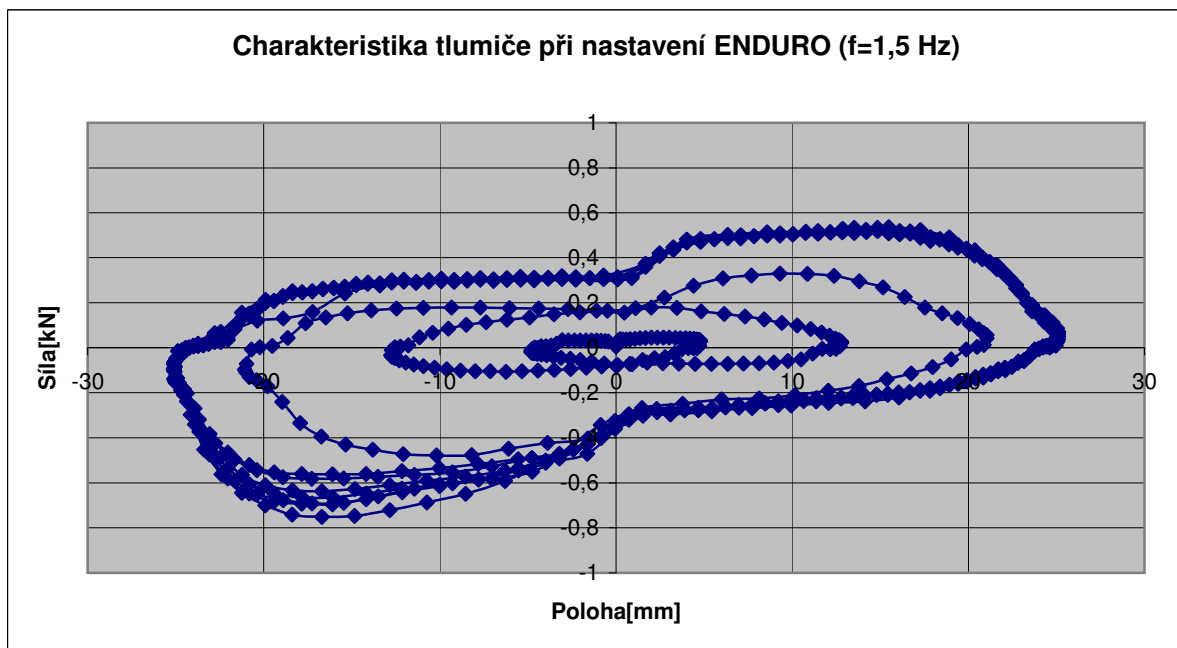
Dl - 12 poloh, RTC 8 poloh



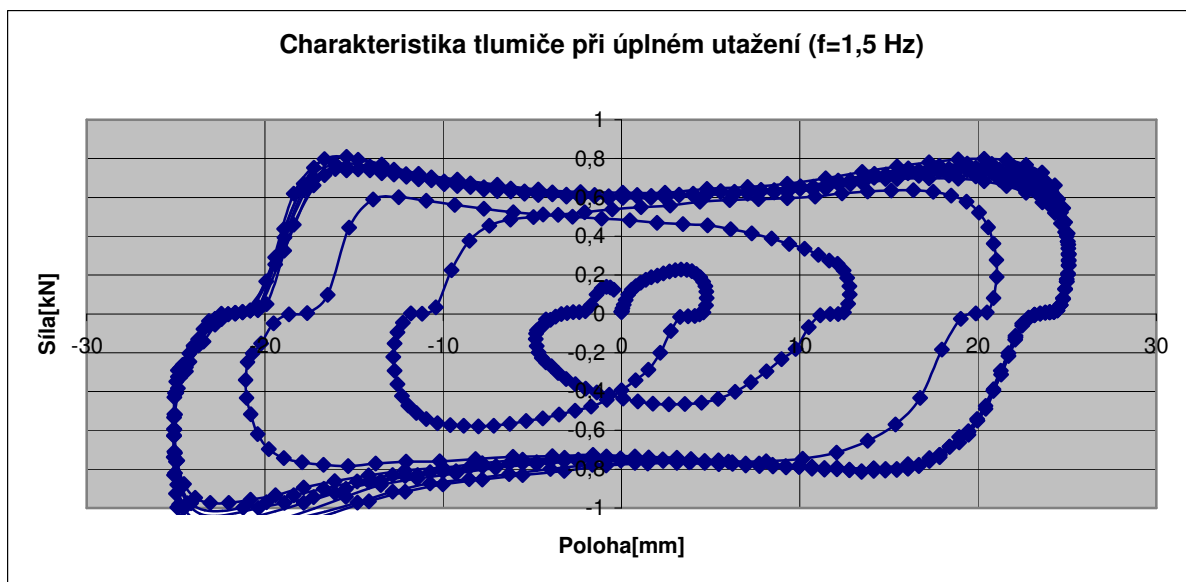
Obrázek 17: Charakteristika konkurenčního tlumiče



Obrázek 18: Charakteristika konkurenčního tlumiče



Obrázek 19: Charakteristika konkurenčního tlumiče



Obrázek 20: Charakteristika konkurenčního tlumiče

3.3.3. Závěr měření

Ze změřených charakteristik mohu změřit funkčnost regulace útlumů tlumiče Ohlins a tím se potom inspirovat při návrhu vlastní konstrukce tlumiče řízení. S přihlédnutím k výsledkům měření jsem se rozhodl pro vlastní tlumič použít pouze jednu regulaci útlumu, která bude škrtit průtok oleje v obou směrech.

Použiji také velikosti útlumových sil, podle kterých budu moci orientačně navrhnout výchozí nastavení útlumu pro prototyp vlastního tlumiče.

Kompletní dokumentace z měření je v příloze.

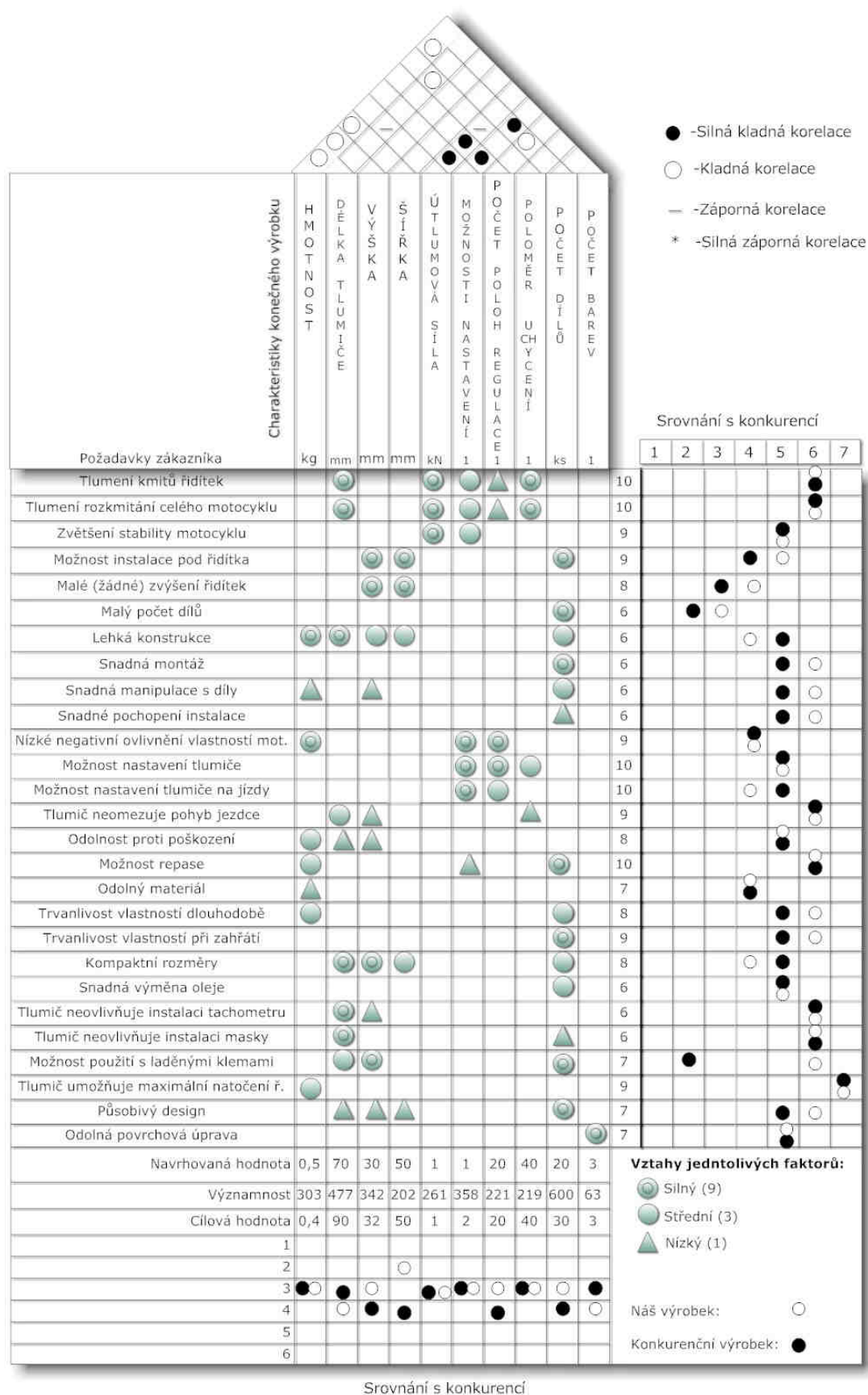
4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1. Návrh vlastního tlumiče řízení

4.1.1. Inovační záměr

Popis výrobku	Rotační tlumič řízení terénního motocyklu
Klíčové obchodní cíle	Prodej první série 100 ks
Primární trh	Aktivní jezdci endura a motocrossu
Sekundární trh	Prodejci motocyklového příslušenství
Předpoklady a omezení	Výrobní cena 4000Kč, prodejní cena 7000Kč. Výrobek budou kupovat jezdci, kteří ocení kvalitní a funkční zařízení, a dají přednost českému výrobku před zahraničním. Tlumič řízení musí splňovat svoji funkci, splňovat rozměrové požadavky, umožňovat nastavení útlumu a mít působivý vzhled. Instalace tlumiče by měla být snadná a bez zbytečných zásahů do ostatních prvků motocyklu
Účastníci inovačního procesu	Bc. Jindřich Křístek, Ing. Rudolf Martonka, Ph.D.

4.1.2. QFD analýza – House of quality



Obrázek 21: House of quality

Pro návrh tlumiče jsem vypracoval první korelační matici metody QFD, tzv. House of quality. Jde o metodu, ve které k jednotlivým požadavkům potencionálních zákazníků přiřazujeme vztah ke konkrétním měřitelným charakteristikám výrobku. Zároveň dochází ke srovnání našeho budoucího výrobku s vybraným konkurenčním výrobkem. Porovnávají se jak vlastnosti výrobku, tak i to, jak daný výrobek plní požadavky zákazníků.

4.1.3. Výběr koncepce řešení konstrukce tlumiče

Vlastní tlumič řízení jsem se rozhodl navrhnout jako tlumič rotační, a to zejména z důvodů zástavby. Výhodou je také odpadající nutnost vyrovnávacího prostoru pro vyrovnávání objemu zasunuté pístnice.

U rotačního tlumiče jsem uvažoval několik variant konstrukčního řešení. Varianty se lišily tvarem a vlastnostmi rotačního členu, ale také škrťícím průtokem kapaliny.

-PÍST

-Pohyb svisle

-Vodorovně

-Po křivce

-ROTAČNÍ ČLEN

-Vrtulka

-Přepouštění přes průtok

-Průtok přímo na RČ

4.1.4. Porovnání jednotlivých variant

Píst se svislým pohybem:

Výhody:

- Možnost nastavení útlumu ve dvou směrech

Nevýhody:

- Ovládání
- Rozměry
- Provedení regulace

Píst s vodorovným pohybem:

Výhody:

- Utěsnění
- Délka pohybu

Nevýhody:

- Ovládání
- Provedení regulace

Rotační člen – Vrtulka:

Výhody:

- Jednoduchá konstrukce
- Ovládání
- Rozměry

Nevýhody:

- Provedení regulace

-Utěsnění RČ

Rotační člen + přepouštění přes průtok:

Výhody:

- Možnosti regulace
- Ovládání
- Rozměry

Nevýhody:

- Složitost provedení
- Utěsnění RČ

Rotační člen s vlastním průtokem:

Výhody:

- Ovládání
- Rozměry

Nevýhody:

- Složitost provedení
- Utěsnění RČ
- Možnosti regulace

tabulka 1: Porovnávací tabulka jednotlivých variant

	Píst se svislým pohybem	Píst s vodorovným pohybem	Vrtulka	Přepouštění přes průtok	Rotační člen s vlastním průtokem
Rozměry	2	2	4	3	3
Výroba	4	4	1	3	3
Možnost regulace	2	2	1	4	4
Možnost využití standardních dílů	2	2	1	3	2
Součet	12	12	7	<u>13</u>	12

Po porovnání jednotlivých možností řešení jsem dospěl k rozhodnutí jít cestou konstrukce s rotačním členem, který přetlačuje kapalinu skrz průtok.

V průtoku by měl být škrtící ventil, který bude ovládán zvenku tlumiče.

Pro zjednodušení konstrukce bude vynechán vyrovnávací prostor, zvětšení objemu oleje po zahřátí bude vyrovnáno pomocí pružného polymeru umístěného v kapalině.

V konstrukci tlumiče řízení se budu snažit použít prvky shodné s jinými tlumiči ve výrobním programu firmy (v souladu s metodou DFM).

4.2. Návrh konstrukce

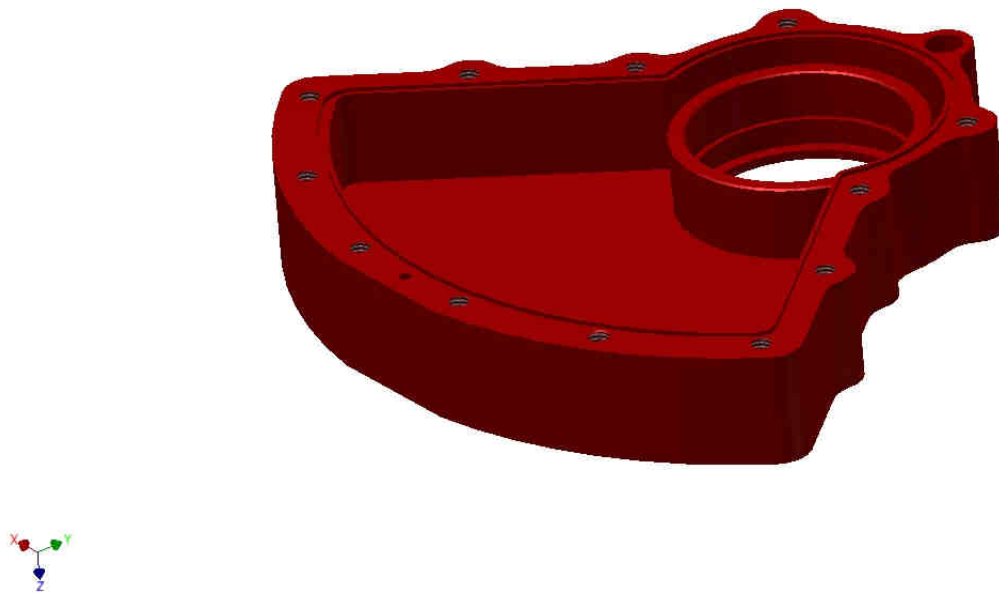
4.2.1. Základní vlastnosti návrhu:

- hlavním tělesem je spodní díl tlumiče
- ve spodním dílu tlumiče se bude otáčet rotační člen tlumiče
- rotační člen se bude otáčet kolem osy, která bude shodná s osou řízení motocyklu
- rotační člen bude přetlačet olej, kterým bude zaplněn spodní díl tlumiče, z jedné strany na druhou
- průtok pro olej, kterým bude olej přetlačén, bude umístěn ve vrchním dílu tlumiče
- průtok bude zvenku škrcen prvek regulace
- regulace bude umístěna a provedena tak, aby šla ovládat za jízdy
- tlumič bude k připevněn k brýlím vidlice motocyklu pod řídítka
- uchycení tlumiče bude provedeno tak, aby se výstup tlumiče mohl otáčet a přenášet sílu na záchyty reakce



Obrázek 22: Ukázka prostoru pro montáž tlumiče řízení

4.2.2. Návrh spodního dílu tlumiče



Obrázek 23: Spodní díl tlumiče

U spodního dílu tlumiče bylo několik podstatných omezení a předpokladů. Mezi nejdůležitější patřily tyto:

- omezení šířky tlumiče v ose rotace (z důvodu zástavby na motocyklu)
- omezení výšky tlumiče v ose rotace (z důvodu zástavby motocyklu)
- nutnost uložení vedení rotačního členu tlumiče
- nutnost utěsnění rotačního členu tlumiče v místě jeho výstupu z tlumiče

Spodní díl jsem tedy navrhl tak, aby splňoval podmínku šířky tlumiče. Musel jsem tlumič co nejvíce zúžit, díry pro šrouby posunout tak, aby nerozšiřovaly tlumič. Do vedení rotačního členu jsem musel navrhnout drážku pro o-kroužek, který bude těsnit rotační člen, který vystupuje spodním dílem tlumiče dolů, kde na něj bude montován díl výstup z tlumiče. Ve vedení rotačního členu je také drážka, ve které bude usazena páska z teflonovo-měděného kompozitu, která bude plnit jak funkci samotného vedení, tak funkci pouzdra, ve kterém se rotační člen otáčí. Veškeré rozměry v rovině osy otáčení jsou minimalizovány, a veškerý prostor je maximálně využit. Stejně tak budou použity co nejmenší další díly (o-kroužek, šrouby..)

Další vlastnosti návrhu spodního dílu:

- rovnoměrně po obvodu jsou umístěny díry pro šrouby M4 pro montáž vrchního dílu tlumiče
- tyto díry jsou neprůchozí, avšak několik děr je průchozích se závitem v celé délce, protože do nich bude montována podpěrná část tlumiče
- zároveň s dírami pro šrouby jsou ve spodním členu díra pro aretační čep a díra pro aretační trubičku, která bude souosá s jedním ze šroubů, které budou zajišťovat přesnou polohu vrchní části tlumiče oproti spodní části tlumiče
- v dosedací ploše pro vrchní část tlumiče je umístěna drážka pro těsnění, které bude zajišťovat těsnost mezi spodní a vrchní částí tlumiče
- samotný tvar a obrys spodního dílu je navržen tak, aby splňoval rozměrové požadavky, ale zároveň umožňoval potřebný pohyb rotačního členu tlumiče a poskytoval prostor pro dostatečný objem oleje

4.2.3. Návrh rotačního členu tlumiče



Obrázek 24: Rotační člen tlumiče

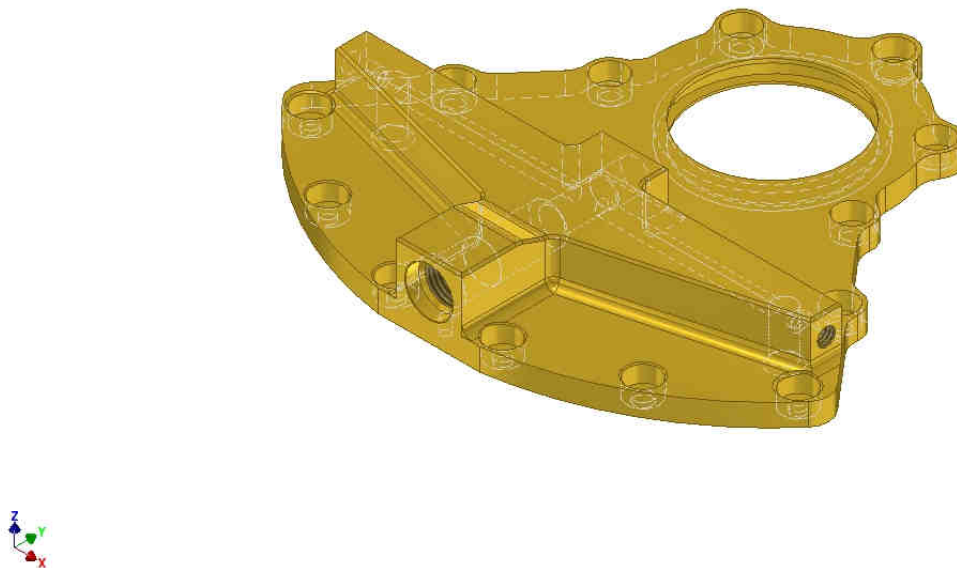
U rotačního členu tlumiče jsem byl opět velice omezen prostorem. Při jeho návrhu jsem musel zajistit zejména:

- možnost jeho usazení ve spodním členu tlumiče

- možnost montáže dílu výstup z tlumiče na rotační člen tlumiče a jeho jasné danou polohu při montáži
- vhodně navrhnout tvar, který bude splňovat funkci přetlačení oleje
- tvar navržený pro eliminování parazitních průtoků mezi rotačním členem a spodním i vrchním dílem tlumiče
- tvar umožňující upnutí tlumiče k brýlím (rotační člen musí být dutý, bude v něm umístěna hlava šroubu připevňující tlumič k brýlím – M20)

Rotační člen jsem navrhl tak, že je dutý a lze do něj usadit hlavička imbusu, který upevňuje celý tlumiče k brýlím motocyklu. Palec rotačního členu, který přetlačuje olej, je zakončen stejným radiusem jako vnitřní prostor spodního dílu tlumiče, tím jsou zmenšeny parazitní průtoky. V souvislosti s parazitními průtoky jsou podstatné také velmi přesné výrobní tolerance a kvalita povrchu a to jak rotačního členu, tak spodního a vrchního dílu tlumiče. Na rotačním členu jsou dosedací plochy pro těsnící o-kroužky, které jsou umístěné ve vrchním a spodním díle tlumiče. Díl výstup z tlumiče bude na rotační člen nalisován na lícovaný průměr, který je po stranách ofrézován. Tímto tvarovým spojem získáme přesnou polohu výstupu z tlumiče s rotačním členem tlumiče. Výstup z tlumiče bude ještě zajištěn pojistným kroužek, který bude umístěn v drážce v rotačním členu tlumiče. Dále je v palci rotačního členu dutina. Ta bude sloužit k umístění pružného polymerového členu. Ten bude fungovat jako kompenzátor změny objemu oleje při zahřátí, ale také jako kompenzátor při změně objemu vnitřního prostoru při pohybu ventilu regulace průtoku.

4.2.4. Návrh vrchního dílu tlumiče



Obrázek 25: Vrchní díl tlumiče

Vrchní část tlumiče plní tři základní funkce. Spolu se spodní částí tlumiče tvoří prostor pro pohyb rotačního tlumiče, který je vyplněn olejem. Dále také těsní a částečně vede rotační člen pomocí o-kroužku. Nejdůležitější funkcí je ale umístění průtoku oleje a regulace průtoku ve vrchní části tlumiče. Návrh vrchního členu tlumiče tedy musí splňovat:

- šířka a výška splňující rozměrové podmínky zástavby
- tvar odpovídající montáži na spodní díl tlumiče
- těsnění rotačního členu
- průtok oleje z jedné strany na druhou
- umístění regulace škrtící průtok

Vrchní díl jsem, stejně jako většinu dílů, navrhoval tak, aby šel vyrobit na obráběcím CNC stroji pro prototyp tlumiče. Průtok oleje jsem umístil do vyvýšené části, která nebude překážet při montáži tlumiče pod řídítka. Do vyvýšené části jsem rovněž umístil regulaci tlumiče, která bude postupně uzavírat průtok oleje. Výstup regulace bude

směrem k jezdcí, kde bude umístěno ovládací kolečko, kterým jezdec pohodlně nastaví požadovanou útlumovou sílu. Vrchní část tlumiče je navržena tak, že při testování prototypu půjde jednoduše tento díl upravovat, a tím i měnit charakteristiku tlumiče. Při posunutí celého rozsahu regulované útlumové síly půjde jednoduše zvětšit vodorovná díra, z původního průměru 3 až na 6mm. Tím při testování a ladění prototypu může dojít k doladění a konečnému nastavení tlumiče před uvedením do sériové výroby, a to s minimálními náklady. Dalším zajímavým řešením jsou svislé díry, kterými se olej při přetlačování dostává do průtoku ke škrcení. Tyto díry mají větší průměr než samotný průtok, a to aby nevznikal v průběhu přetlačování oleje na změnu průměru podtlak. Zároveň jsou ovšem díry při maximálním pootočení členu uzavírány až na malou šterbinu, čím fungují jako hydraulický doraz. Shrnutí vlastností návrhu toho dílu je tedy takové:

- dílní plní všechny své požadované funkce s minimálními rozměry a hmotností
- v díle je navržen průtok oleje, který lze při testování snadno upravovat a tím ladit charakteristiku tlumiče
- v díle je usazena regulace, která je výborně ovladatelná a která reguluje průtok oleje a tím mění charakteristiku tlumiče
- dílní lze vyrobit na CNC obráběcím stroji
- šrouby, kterými bude dílní namontován na spodní dílní, jsou zapuštěny a nezvětšují tudíž výšku tlumiče
- dílní vypadá působivě pro zákazníka, povrch bude upraven zlatým eloxem
- vrchní část tlumiče má drážku pro o-kroužek těsnící rotační člen tlumiče
- spodní část dílu stlačuje těsnění umístěné v drážce ve spodní části tlumiče a jsou v ní umístěny díry pro aretační prvky
- funkce hydraulického dorazu

4.2.5. Návrh podpěrné součásti tlumiče

Tato součást slouží k uchycení tlumiče k horním brýlím vidlice motocyklu. Princip je takový, že podpěrná součást přenáší osovou sílu od utažení šroubu, který přitahuje tlumič k brýlím a zároveň stahuje ložiska řízení.



Obrázek 26: Podpěrná součást tlumiče

Díl jsem navrhl tak, že pro jeho montáž ke spodnímu dílu tlumiče budou použity průchozí díry se závitem M4 ve spodním dílu tlumiče, které slouží zároveň k montáži vrchní části tlumiče. Hlavičky šroubů, kterými bude podpěrná součást připevněna ke spodnímu dílu tlumiče, jsou zapuštěny v podpěrné součásti. Díl se bude o brýle vidlic motocyklu dotýkat maximální možnou plochou. Osovou sílu od utažení šroubu bude podpěrná součást přenášet tak, že osazení, kterým šroub prochází, bude opřeno o hlavičku šroubu. Celé osazení bude zároveň zapuštěno v díře v rotačním členu, čímž dojde k velké úspoře místa.

- díl je připevněn ke spodnímu dílu v již připravených otvorech, s velikou úsporou prostoru
- přenos upínací síly je proveden otvorem rotačního členu tak, že nehrozí stažení výstupu z tlumiče a tím omezení funkce tlumiče
- výrobek lze pro prototyp vyrobit CNC obráběním, později možno nahradit odlitkem

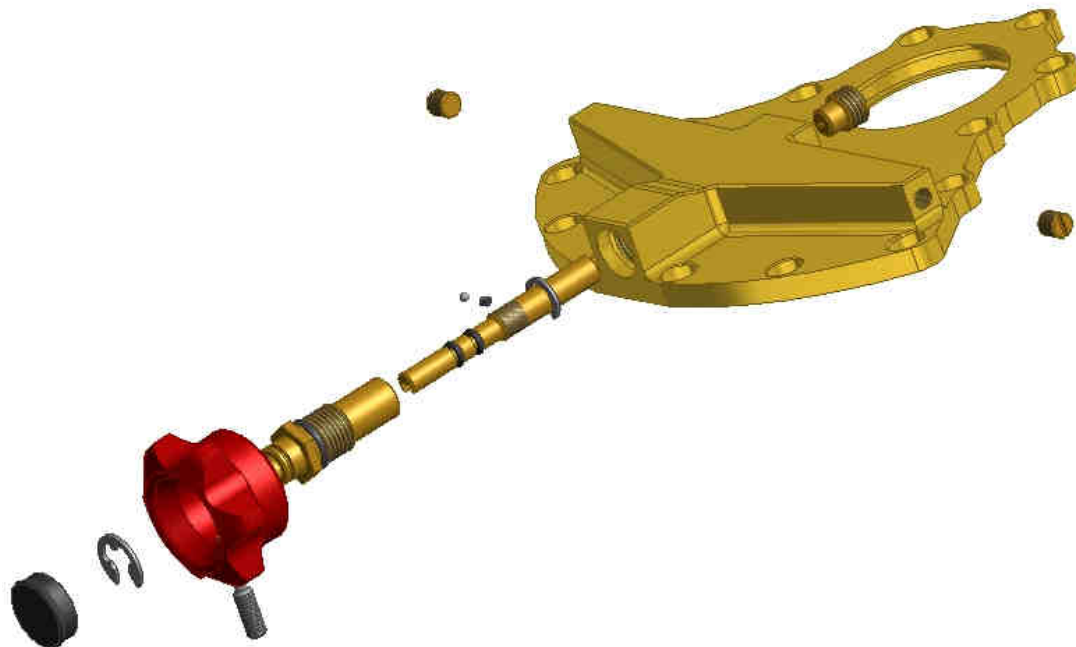
4.2.6. Návrh regulace průtoku tlumiče

Regulaci průtoku navrhují jako ventil, který bude škrtit průtok oleje ve vrchní části tlumiče. Ventil bude usazen v hřídeli, která bude sloužit zároveň jako vedení ventilu, tak jako tzv. “cvakání“, aretace poloh regulace. Ventil nebude v krajní otevřené poloze zasahovat do průtoku. Při přidávání poloh ovládacím kolečkem bude ventil postupně uzavírat průtok až k dorazu, který zajišťuje aby nedošlo k úplnému uzavření.

Ovládání regulace je kolečkem, které má ergonomický tvar. Při otáčení kolečkem dochází k axiálnímu pohybu ventilu, ale kolečko se pouze otáčí. Kolečko je zároveň navrženo tak, aby zakrývalo šestihran hřídele regulace.

Celý systém regulace je navržen tak, aby byl dobře rozebíratelný a šel lehce upravit při testování prototypu. Regulace je důkladně utěsněná proti únikům oleje a proti nečistotám zvenku tlumiče.

Na regulaci jsou použity díly, které se používají v jiných tlumičích v nabídce firmy a jsou na nich provedené úpravy, které lze jednoduše provést na konvenčních obráběcích strojích.



Obrázek 27: Rozpad regulace tlumiče řízení

- regulace je plně rozebíratelná, má pevné dorazy, přesný chod a jasně dané polohy
- kolečko ovládání regulace se neposouvá, je ergonomicky tvarované, vzhledově působivé a je umístěno na přístupném místě pro jezdce
- jsou využity díly, které jsou ve firmě k dispozici
- pohyblivé díly a doraz jsou vyrobeny z mosazi, kolečko je duralové s červeným eloxovaným povrchem
- jsou využité normalizované díly (pojistné kroužky jako doraz a jako uchycení kolečka, červík s čepem jako převod pohybu mezi kolečkem a ventilem regulace, o-kroužky jako těsnění)
- otvor v kolečku je uzavřen nacvaknutým plastovým víčkem

4.2.7. Návrh výstupu z tlumiče

Tento díl jsem navrhl tak, aby nezvětšoval výšku tlumiče, ale aby zároveň pro připojení reakce tlumiče nedocházelo ke dření o spodní díl tlumiče. Toho jsem docílil tak, že tento díl bude vyříznut z plechu pomocí laseru a poté ohnut na dvou místech. Tím vznikne větší mezera mezi výstupem z tlumiče a spodním dílem tlumiče v místě, kde bude uchycena reakce z rámu motocyklu.

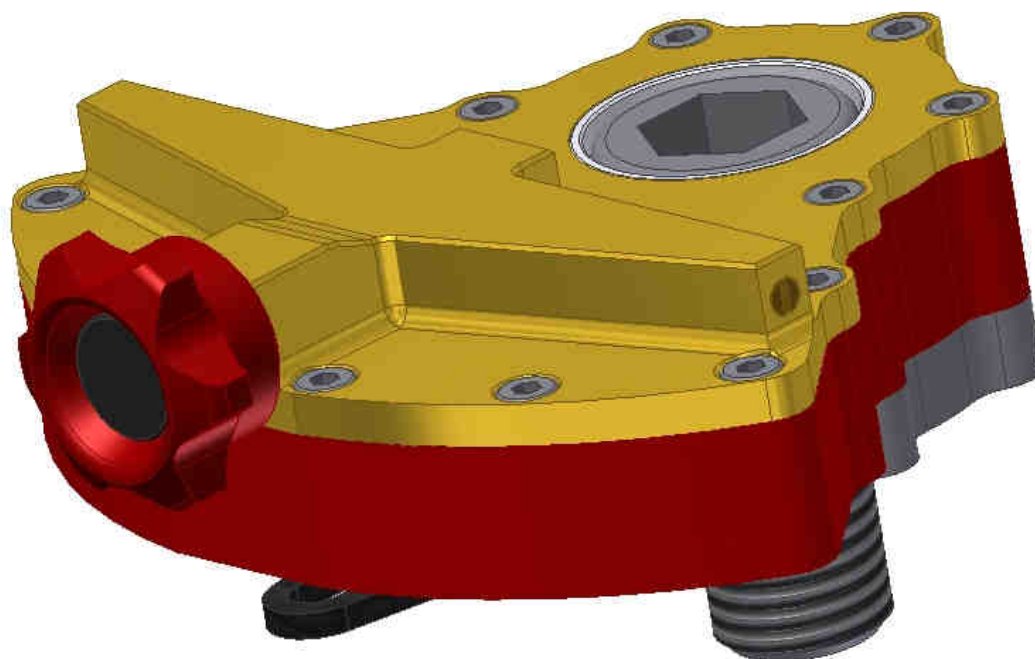
Otvor pro uchycení reakce z rámu motocyklu bude také vyříznut laserem a bude oválný. Tím dosáhnu toho, že při testování prototypu tlumiče řízení bude možné posouvat uchycení reakce a tím měnit rameno, kterým bude přenášena útlumová síla. Takto bude možné s nulovými náklady měnit počáteční útlumovou sílu při testování a ladění.

Na díl bude galvanicky nanesen zinkový povrch pro zvýšení korozní odolnosti.

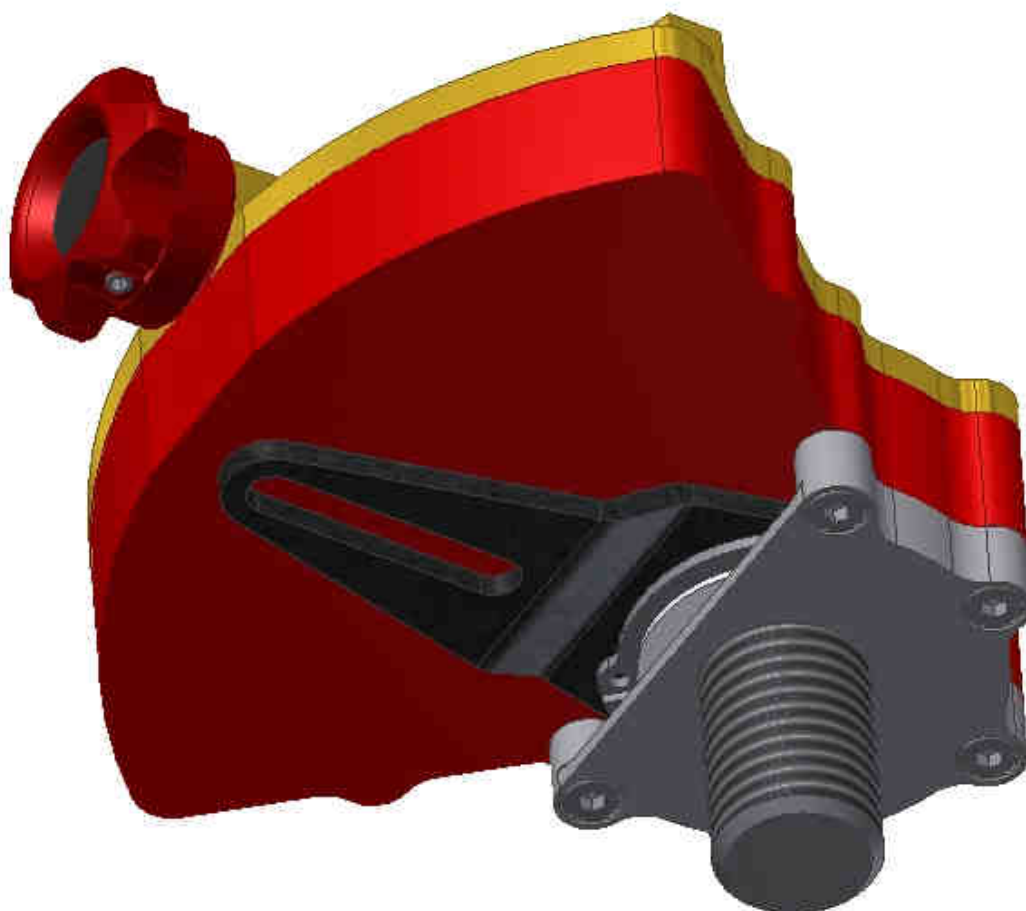


Obrázek 28: Výstup z tlumiče

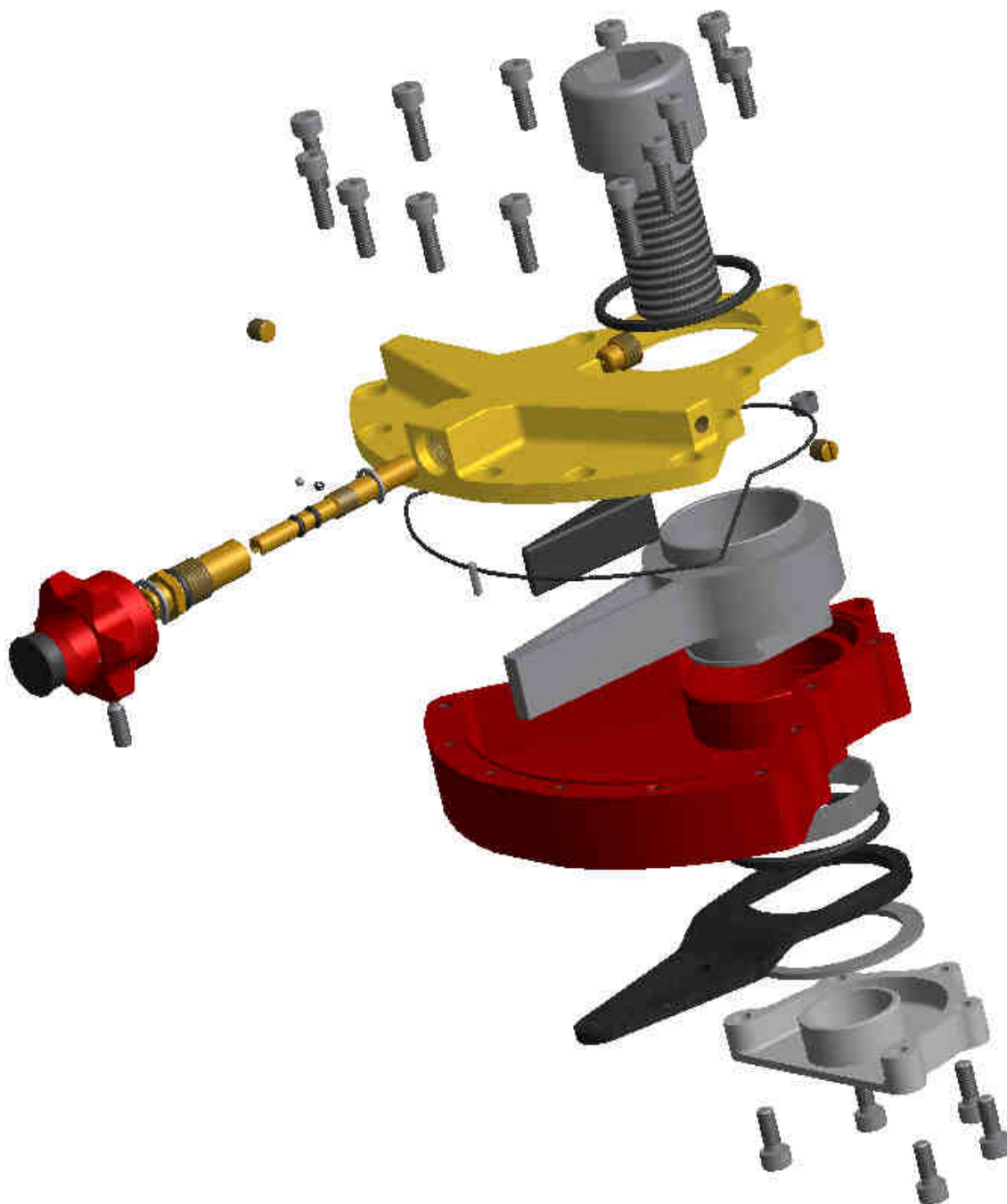
4.2.8. Kompletní tlumič řízení



Obrázek 29: Model tlumiče řízení



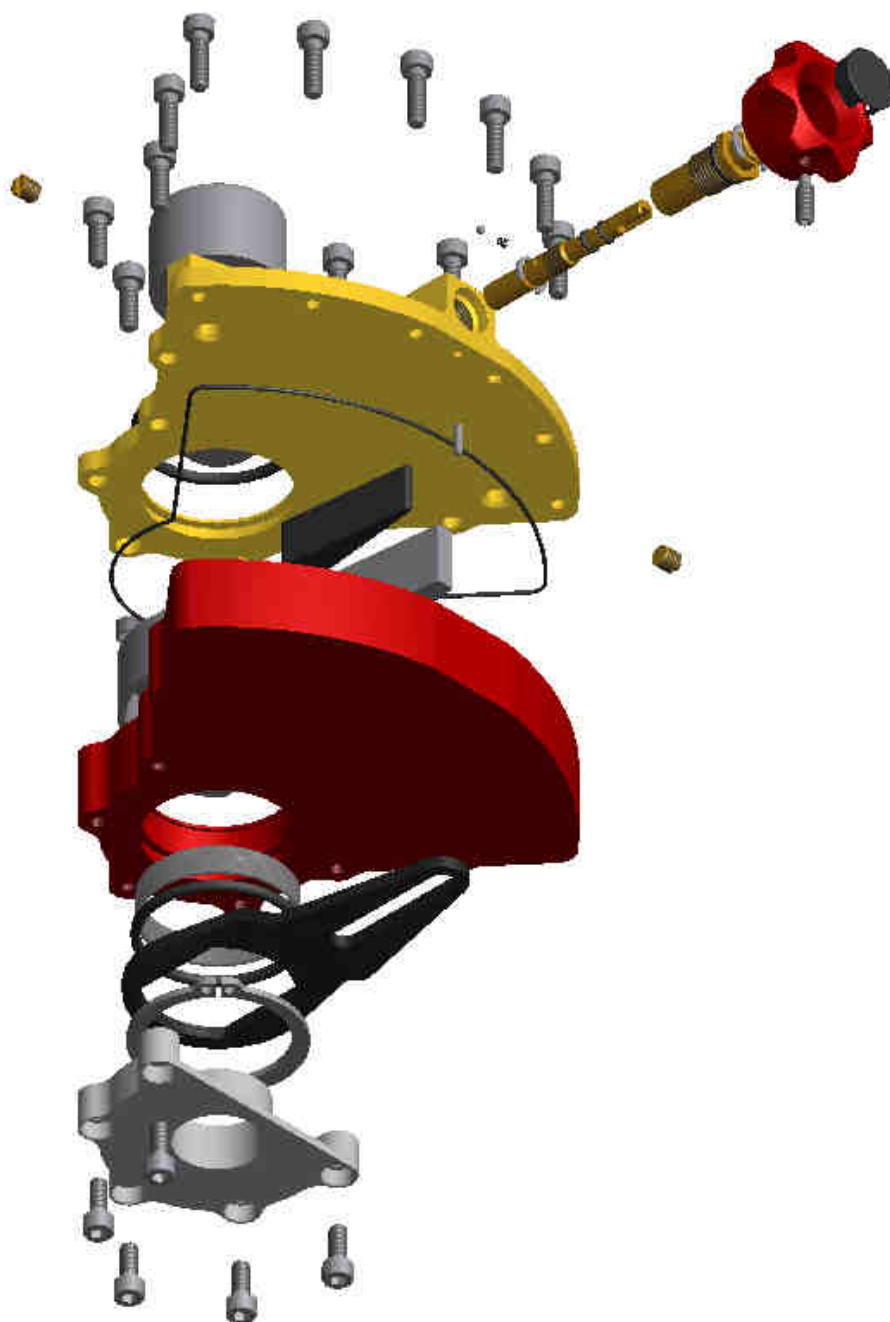
Obrázek 30: Model tlumiče řízení



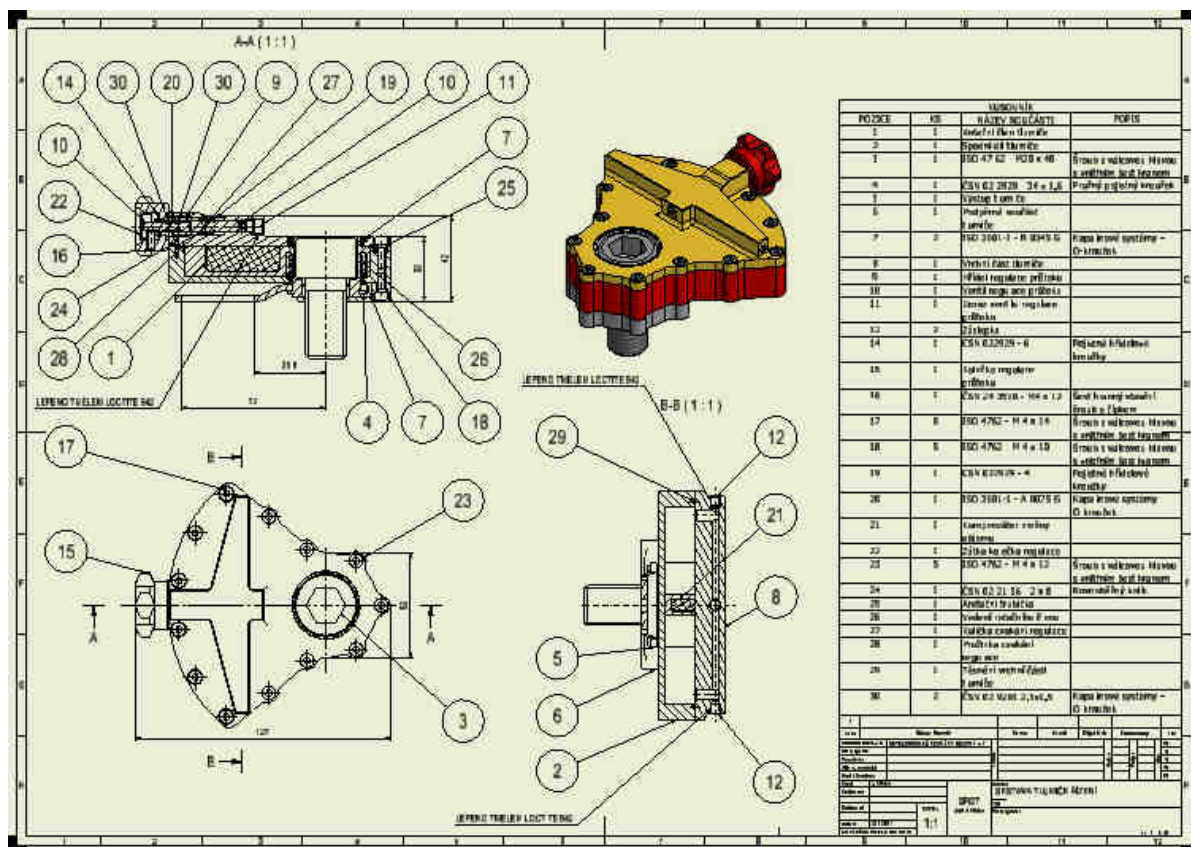
Obrázek 31: Rozpad modelu tlumiče řízení

- Navržený tlumič tvoří kompaktní celek, který vyhovuje montáži pod řídítka, a to jako jediný tlumič i s laděnými klemami na motocykly KTM Six Days
- Jsou zde v maximální míře použity normalizované součásti
- Jsou použity součásti, které jsou použité v jiných tlumičích v nabídce firmy, popř. jsou upravené tak, aby šla úprava provést na konvenčních obráběcích strojích

- Ovládání regulace tlumiče je intuitivní, ovládací prvek je ergonomický a je lehce přístupný i za jízdy
- Veškeré díly a prvky (kromě těsnění vrchní části tlumiče) jsou vyrobitelné na CNC strojích – jednoduchá a relativně levná výroba prototypu
- Tlumič je navržen tak, aby při testování prototypu mohl být upravován a laděn co nejjednodušeji a s minimálními náklady



Obrázek 32: Rozpad modelu tlumiče řízení



Obrázek 33: Náhled výkresu sestavy tlumiče

5. ČÁST HODNOCENÍ NÁVRHU

5.1. *Ověření funkce regulace*

Regulace tlumiče funguje na principu škrcení průtoku oleje. Regulace je navržena tak, že při otevřené poloze je průřez průtoku nezměněn. Při utahování regulace (zvětšování útlumové síly) ventil regulace postupně uzavírá průtok. Aby nedošlo k úplnému uzavření průtoku, je proti ventilu regulace umístěn jeho doraz. Ten je nastavitelný, takže při testování prototypu bude možné nastavit jeho polohu tak, aby odpovídal rozsah, polohy a krajní funkce regulace zvoleným požadavkům.

Pro ověření funkce regulace jsem zvolil CFX simulaci průtoku oleje škrcením. Tuto simulaci jsem prováděl v programu Ansys, konkrétně v modulu Fluent.

Vytvořil jsem model kapaliny v průtoku v horní části tlumiče, a to v šesti polohách regulace. Tyto modely kapaliny jsem poté převedl na tetragonovou síť konečných prvků. Jako vstupy do tlumiče jsem zadával rychlost na vstupu. Tu jsem získal z objemového průtoku a předpokládané rychlosti rotačního členu. Jelikož jsem prováděl simulaci pouze jako orientační, zanedbával jsem tlak na výstupu (nahrazen atmosférickým tlakem) a tření na stěnách průtoku. Předpokládal jsem lamelární proudění.

Pro možnost porovnání s konkurenčním výrobkem jsem předpokládal pohyb rotačního členu mezi krajními polohami, s frekvencí 1Hz.

Výstupem ze simulace pro mě byly grafy kontur tlakového spádu a vektory rychlosti.

Objem oleje v tlumiči je $54473,3\text{mm}^3$. Pro simulaci jsem počítal s přibližným objemovým průtokem 25cm^3 za 0,5s. Z objemového průtoku, a faktu že vstup do průtoku ve vrchní části tlumiče má $\varnothing 5\text{mm}$, získal jsem vstupní rychlost $v=12,73\text{ ms}^{-1}$. Do výpočtu jsem zahrnul konkrétní vlastnosti použitého oleje.

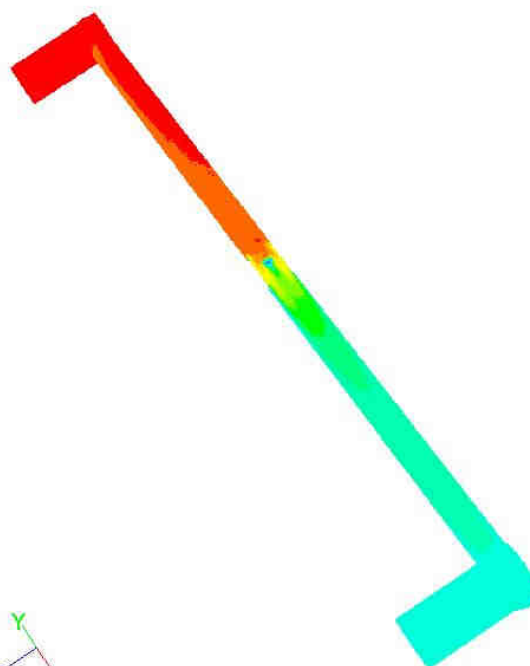
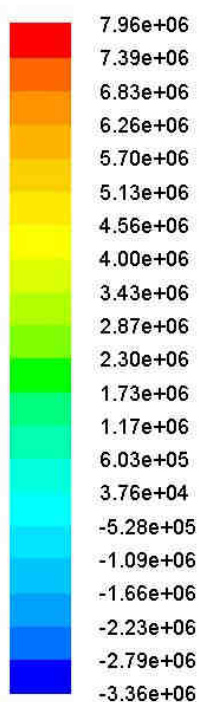
Hodnoty pro simulaci:

Objemový průtok..... $Q_v=50\text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$

Vstupní rychlost $v=12,73\text{ m.s}^{-1}$

Hustota oleje..... $\rho =872\text{ kg.m}^{-3}$ (při 20°C)

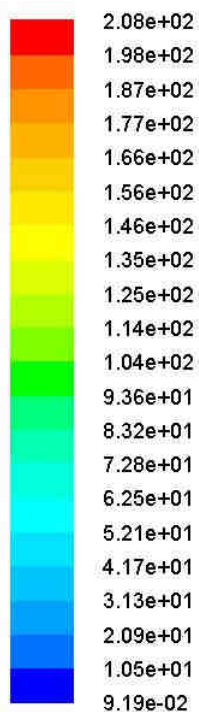
Kinematická viskozita..... $\nu=22\text{ mm}^2.\text{s}^{-1}$ (při 40°C)



Contours of Relative Total Pressure (pascal)

Apr 18, 2011
ANSYS FLUENT 12.1 (3d, pbns, lam)

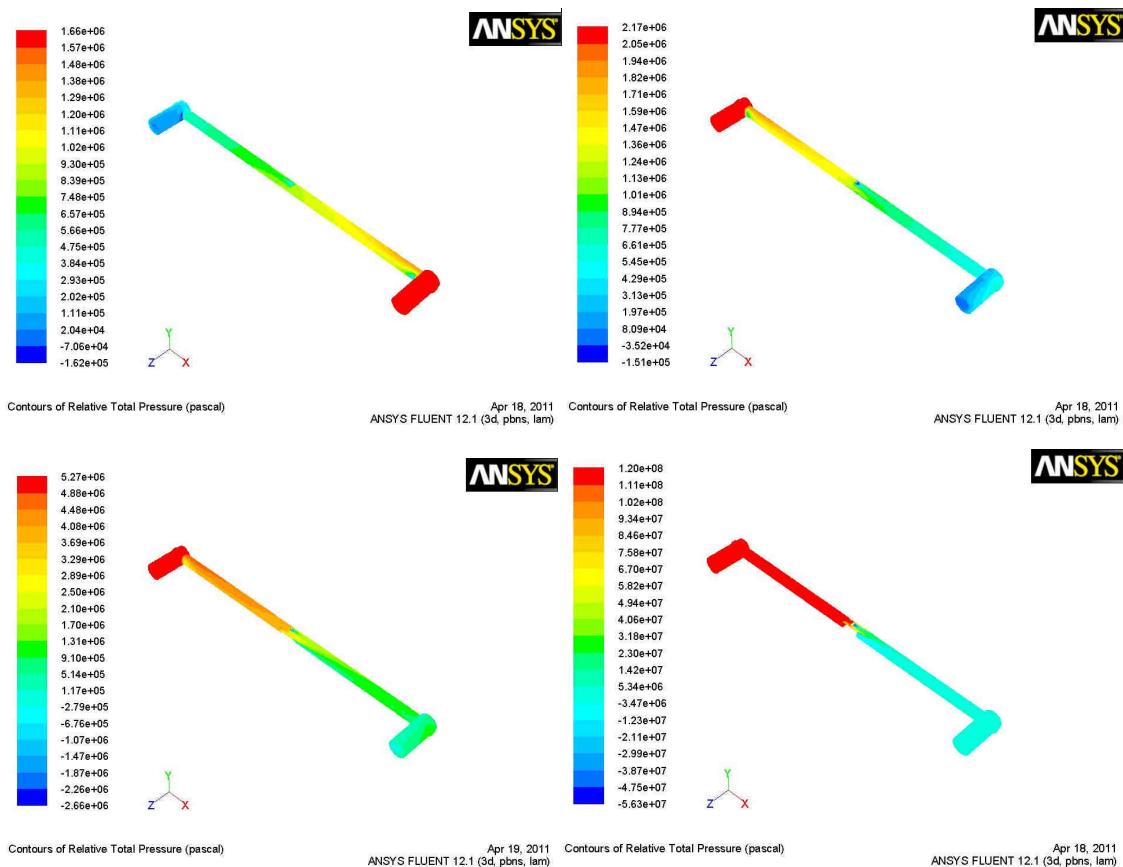
Obrázek 34: Tlakový spád ve škrťicím průtoku v poloze regulace 2,5mm



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Apr 18, 2011
ANSYS FLUENT 12.1 (3d, pbns, lam)

Obrázek 35: Rychlost kapaliny ve škrťicím průtoku v poloze regulace 2,5mm



Obrázek 36: Tlakové spády v různých polohách regulace

5.1.1. Výsledky simulace

Simulací jsem si ověřil funkci regulace tlumiče. Výsledky dokazují, že regulace funguje v celém svém rozsahu, a že je tady použitelná k nastavení tlakového spádu (útlumové síly) tlumiče. Kompletní výsledky simulace jsou v příloze.

5.1.2. Výpočet útlumové síly

Z výsledků simulace můžu orientačně vypočítat útlumovou sílu tlumiče. Při výpočtu útlumové síly budu zanedbávat parazitní průtoky kolem rotačního členu tlumiče.

Při výpočtu budu vycházet z boční plochy nosu rotačního členu, vzdálenosti těžiště této plochy od osy otáčení a tlakového spádu odečteného z výsledků simulace. Do výpočtu musím také zahrnout poloměr, na kterém bude upnut čep uchycení reakce. Jelikož je ve výstupu tlumiče ovální díra, můžu tento poloměr měnit, a tím docílit požadované počáteční útlumové síly.

Výpočet provedu při stavu regulace v poloze 0,5 mm.

Hodnoty pro výpočet:

Plocha boku nosu r.č..... $S=657,2 \text{ mm}^2$

Vzdálenost těžiště plochy:..... $r_r=47,9 \text{ mm}$

Poloměr uchycení čepu reakce... $r_v=50 \text{ mm}$

Tlakový spád..... $\Delta p=1,25 \text{ MPa}$ (v poloze regulace 0,5mm)

Rovnice 1: Orientační výpočet útlumové síly

$$F_u = \frac{\Delta p \cdot S \cdot r_r}{r_v} = 785 \text{ N}$$

Orientační útlumová síla při regulaci v poloze 0,5 a při pohybu rotačního členu frekvencí $f=1 \text{ Hz}$, vyšla 785 N. Při zvážení existence parazitních průtoků kolem rotačního členu je zřejmé, že výsledná útlumová síla bude podstatně nižší. Tento výsledek ovšem ukazuje, že útlumová síla se bude pohybovat v požadovaných mezích. Konečná počáteční útlumová síla (při počáteční poloze regulace) se nastaví až při testování prototypu. Docílíme tím nejjednodušeji změnou poloměru uchycení čepu reakce, ale změnit jde jednoduše i průměr samotného škrceného průtoku. Měnit můžeme jednoduše i parametry samotné regulace.

5.2. Analýza FMEA

Analýza FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) je metoda, která pomáhá určit místa a důvod vzniku vad již při návrhu výrobku. Je zde posuzována vážnost a dopady jednotlivých vad na konečného uživatele.

Tuto metodu jsem použil pro zhodnocení návrhu svého tlumiče řízení. Pro případné problémy jsem navrhl opatření.

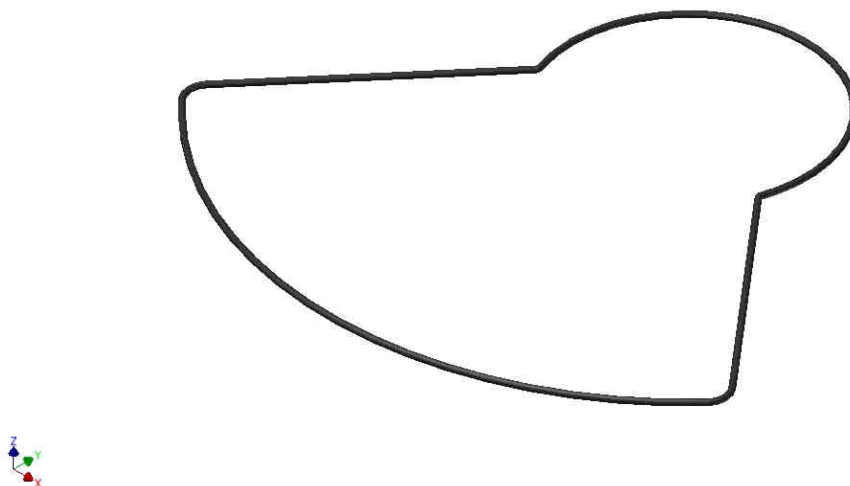
FMEA pracovní formulář									
Identifikace problému		Tlumič řízení		Členové týmu FMEA		J. Křístek			
Garant procesu (vedoucí týmu FMEA)		Jindřich Křístek							
Datum provedené analýzy		20.5.2011							
				Současný stav					
Místo vzniku problému	Projev problému	Následek problému	Příčina problému	Doporučená opatření	V ý s k ý t	V ý z n a m	O d h a n í	R P N	
Uchycení tlumiče	Nedostatečné přitažení tlumiče	Tlumič se může pootočit	Nedostatečný třecí moment	Aretace tlumiče čepy	2	3	1	6	
Upevnění vrchní části tlumiče	Vytékání oleje	Snižená funkce tlumiče	Nedostatečné předeptnutí těsnění	Více šroubů pro upevnění	1	7	1	7	
Těsnění vrchní části tlumiče	Vytékání oleje	Snižená funkce tlumiče	Špatná účinnost těsnění	X-průřez těsnění	2	7	1	14	

6. DOPLŇKOVÁ ČÁST

6.1. Použití metody Rapid Prototyping

Rapid prototyping je soubor technologií výroby prototypů pomocí 3D tisku. Tyto prototypy (podle technologie) jsou většinou nevhodné k většímu zatížení a slouží pouze k představě o vzhledu (designové návrhy) a zástavbě do stroje či k menšímu zatížení. Virtuální 3D model součásti je „rozřezán“ na tenké vrstvy, které se různými technologiemi vytváří z různých materiálů a vrství se na sebe. Vznikne tak finální prototyp.[9]

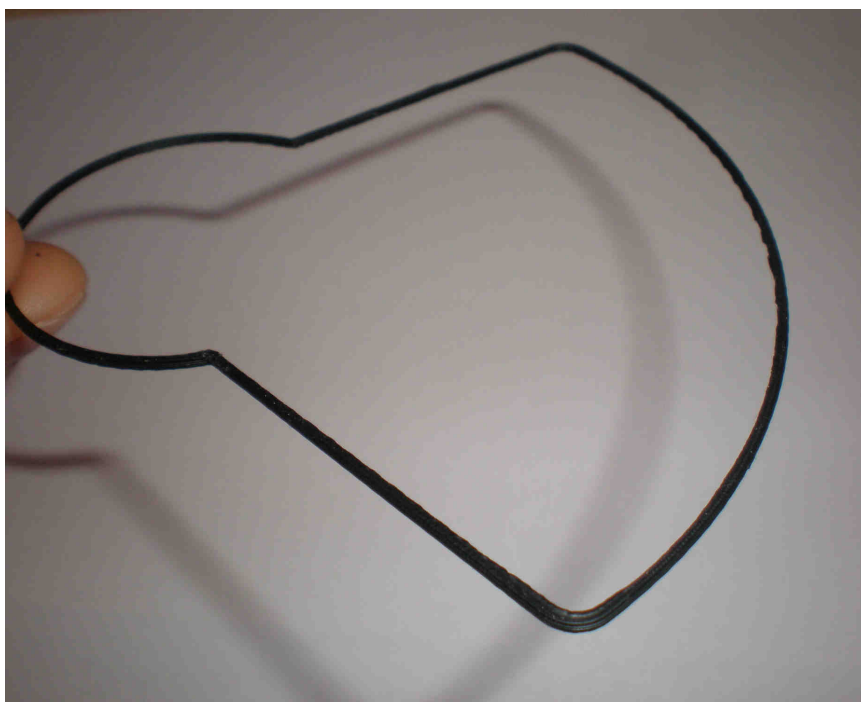
Jak jsem napsal již dříve, celý prototyp tlumiče je navržen tak, aby jeho výroba byla možná na běžně používaných strojích, s minimálními náklady. Většina dílů lze vyrobit na běžných CNC strojích. Některé díly jsou použité ze současné produkce firmy Protlum, případně jsou tyto díly jednoduše upravené na konvenčních obráběcích strojích.



Obrázek 37: Model těsnění vrchní části tlumiče

Ovšem díl Těsnění vrchní části tlumiče takto vyrobit nelze. Tento díl je tvarově složitý, kvůli značnému rozměrovému omezení při navrhování tlumiče. Pro výrobu těsnění pro prototyp tlumiče jsem se tedy rozhodl použít metodu Rapid Prototyping. Konkrétně byla použita metoda FDM (Fused deposition modeling) pro výrobu rozměrového

prototypu z plastu ABS. Následně byl tento model upraven, vyhlazen jeho povrch a byl opatřen nástřikem pro snížení drsnosti povrchu. Poté byl tento model použit k výrobě silikonové formy. Do silikonové formy je již možné odlít model z pryže, který lze použít přímo pro prototyp k testování.



Obrázek 38: Vyrobený model těsnění vrchní části tlumiče z plastu ABS

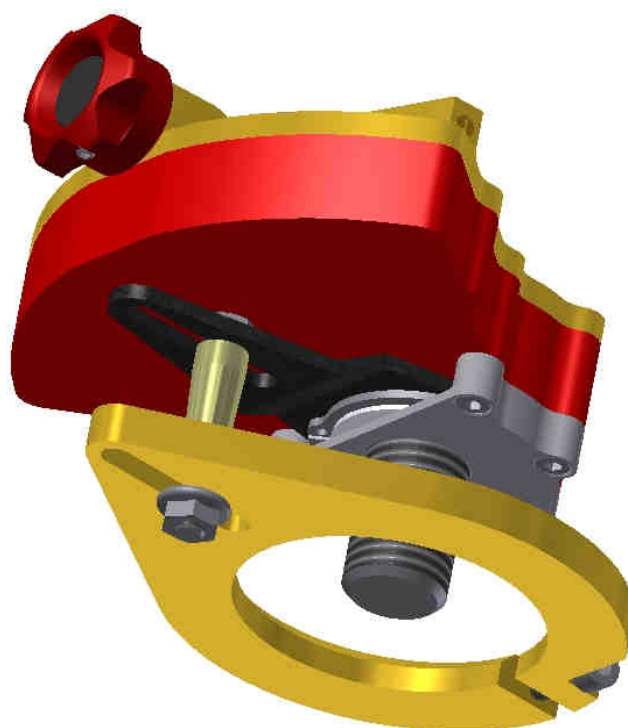
6.2. Návrh příslušenství tlumiče řízení

Pro úplnost návrhu tlumiče řízení je ještě potřeba navrhnout systém uchycení reakce tlumiče řízení pro konkrétní motocykl. Znovu při návrhu tohoto příslušenství počítám s jeho montáží na motocykl KTM EXC Six Days.

Uchycení reakce tlumiče řízení jsem navrhl tak, aby nedocházelo k nevratným zásahům do rámu motocyklu. Uchycení je navrženo jako objímka, která se stáhne kolem krku řízení motocyklu. V objímce je oválná díra, do které je zasazen čep reakce uchycení. Proti němu je nasazen čep výstupu z tlumiče. S čepy lze pohybovat v oválných dírách, kde jsou staženy maticemi. Tímto bude možné jednoduše při testování prototypu upravovat počáteční útlumová síla.



Obrázek 39: Uchycení reakce tlumiče spojené s výstupem z tlumiče



Obrázek 40: Kompletní tlumič řízení s uchycením reakce

6.3. Montáž tlumiče řízení

Tlumič řízení bude přitažen imbus šroubem, který prochází celým tlumičem, k horním brýlím motocyklu. Objímka reakce bude stažena kolem krku řízení. Bude tedy ve stálé poloze oproti rámu motocyklu. Při natočení řídítek se bude tlumič pohybovat s nimi, a reakce tlumiče řízení tedy bude pohybovat výstupem z tlumiče.

7. ZÁVĚR

V diplomové práci jsem vypracoval návrh funkčního tlumiče řízení pro terénní motocykl. Při návrhu jsem se řídil metodami lean designu a používal zásady moderní inovace výrobku.

Před vlastním návrhem tlumiče řízení jsem vypracoval rozbor obecných principů hydraulických tlumičů. Dále jsem také provedl důkladnou analýzu konkurenčního trhu. Výsledný model tlumiče řízení splňuje původní požadavky. Jeho rozměry jsou minimální, avšak se zachováním funkce a požadovaných parametrů. Tlumič řízení lze namontovat pod řídítka, v ose s řízením motocyklu, a to bez zásahu do řízení i na motocykl KTM EXC Six Days. Toto nesplňuje žádný další rotační tlumič řízení na trhu. Jedná se také o první výrobek tohoto typu, a to jak v nabídce firmy Protlum, tak v české výrobě.

Návrh regulace je navržen s ohledem na použití stávajících dílů ve firmě Protlum. Funkčnost regulace je ještě potvrzena simulacemi průtoku oleje. Pro přípravu k výrobě prototypu jsem využil možnosti progresivní metody Rapid prototyping. Touto metodou jsem vyrobil těsnění potřebné pro sestavení prototypu.

Výstupem z diplomové práce je kompletní výkresová dokumentace připravená pro zadání k výrobě. S těsněním, které bylo vyrobené metodou Rapid prototyping, budou tyto díly použité k montáži prototypového dílu, který bude testován při závodním nasazení v Mezinárodním mistrovství ČR v enduru. Při tomto testování bude tlumič řízení doladěn a nastaven tak, aby bylo možné spustit výrobu první série určené pro domácí trh.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1]Technická univerzita v Liberci. Strojní fakulta, Experimentální výzkum součinitelů průtoku škrťících elementů hydraulického tlumiče: (teze disertační práce), 2005.

ISBN8070839902

[2]NOVOTNÝ, P.: Pracovní sešit z Mechaniky tekutin pro kombinované studium.

Liberec 2007. ISBN8073722100, 9788073722104

[3]LEINVEBER, J. VÁVRA, P. ŘASA, J.: Praha 1999. ISBN 80-7183-164-6

[4]ŠEVČÍK, L. a kol.: PLM systém a principy návrhu výrobku. Liberec 2010. ISBN

978-80-7372-641-6

[5]PEŠÍK, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4.

PEŠÍK, L.: Části strojů 2. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2.

[6]KOREISOVÁ , G. KOREIS, J.: Vlastnosti hydraulického tlumiče vozidel. Pardubice 2005

[7]Grosser, N. Termer, P.: Systém kontroly účinku tlumičů pérování v STK. Praha

2010

[8] www.moto-svet.cz. : Tlumič řízení. 2009. <http://www.moto-svet.cz/motocykly-a-technika/technika/tlumič-řízení.html>

[9] www.wikipedia.org.: Rapid prototyping. 2010.

http://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping

[10] www.wikipedia.org.: Tlumiče. 2010.

http://cs.wikipedia.org/wiki/Tlumi%C4%8D_kmit%C5%AF